

JRC TECHNICAL REPORTS



Progetto di Monitoraggio Ambientale su tutto il Territorio della Regione Lombardia (Progetto Soil)

*Indagine conoscitiva della
qualità e dello stato di salute dei
suoli lombardi*

Editori: G.M. Beone, R.M. Cenci, L. Guidotti,
F. Sena e G. Umlauf

2015

Report EUR 27161 IT

European Commission

Joint Research Centre
Institute for Environment and Sustainability

Contact information:

Gunther Umlauf

Address: Joint Research Centre, via Enrico Fermi 2769, TP 120, 21027 Ispra, Italy

E-mail: gunther.umlauf@jrc.ec.europa.eu

Tel.: +39 0332 78 6040

Gian Maria Beone

Address: Università Cattolica del Sacro Cuore, via E. Parmense, 84 29122 Piacenza, Italy

E-mail: gian.beone@unicatt.it

Tel.: +39 0523 599486

JRC Science Hub

<https://ec.europa.eu/jrc>

Legal Notice

This publication is a Technical Report by the Joint Research Centre, the European Commission's in-house science service. It aims to provide evidence-based scientific support to the European policy-making process. The scientific output expressed does not imply a policy position of the European Commission. Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication

All images © European Union 2015, except: *La figura in copertina tratta (dal sito <http://www.naviglilombardi.it>) rappresenta una veduta dell'Alzaia Naviglio Grande a Milano. Si ringrazia la Società Navigli Lombardi S.c.a.r.l. (via Taramelli, 26 Milano - Email info@naviglilombardi.it) per la gentile concessione.*

JRC94985

EUR 27161 IT

ISBN 978-92-79-47101-8 (print)

ISBN 978-92-79-47100-1 (PDF)

ISSN 1018-5593 (print)

ISSN 1831-9424 (online)

doi:10.2788/250

Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015

© European Union, 2015

Reproduction is authorised provided the source is acknowledged.

Abstract

Lo scopo del progetto è valutare lo stato di salute e la qualità dei suoli della Regione Lombardia attraverso un approccio multidisciplinare. I terreni campionati provengono prevalentemente da aree dedicate ad attività agricola. Per operare tale selezione si è utilizzata una preesistente rete di punti georeferenziati nota con il nome di LUCAS e di altri database dai quali sono state ricavate informazioni territoriali che hanno permesso di costruire la mappa di campionamento.

Tutto ciò ha fornito un disegno di punti distribuiti su tutto il territorio regionale, sul quale si è lavorato al fine di ricavare una "fotografia" dello stato di salute attuale. L'ottenimento del punto zero dell'opera è il momento di partenza per successive indagini che dovranno essere effettuate negli anni a venire.

I campioni di suolo sono stati sottoposti alle caratterizzazioni chimico-fisiche e biologiche per la determinazione di numerosi parametri. Inoltre, nel progetto di monitoraggio, sono stati utilizzati i muschi quali bioindicatori per valutare le ricadute al suolo di metalli pesanti. I dati ottenuti sono stati confrontati con i limiti di legge vigenti (D.L. 152 del 2006).

Indagine conoscitiva della qualità e dello stato di salute dei suoli lombardi (Progetto Soil)

Editori: G.M. Beone, R.M. Cenci, L. Guidotti, F. Sena e G. Umlauf

Autori

Istituto di Chimica Agraria ed Ambientale - Istituto di Agronomia, Genetica botanica e Coltivazioni erbacee - Istituto di Microbiologia, Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza, Piacenza:

Viviana Anelli, Gian Maria Beone, Franca Carini, Ilenia Cattani, Giuseppe Fricano, Laura Guidotti, Paolo Lodigiani, Edoardo Puglisi

AEIFORIA Srl Spin-off della Università Cattolica del Sacro Cuore di, Piacenza:

Riccardo Rossi

BIO-BIO, Besozzo:

Roberto M. Cenci

European Commission, Institute for Environment and Sustainability, Ispra:

Giulio Mariani, Helle Skejo, Gunther Umlauf

Università Milano Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio e di Scienze della Terra, Milano

Sandra Citterio, Rodolfo Gentili, Alessandra Ghiani, Tho Nguyen Van

Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria, Lab di Ecologia Animale e Molecolare, Università di Camerino, Camerino:

Antonietta La Terza, Daizy Bharti, Santosh Kumar, Silvia Marinsalti, Gabriela Molina, Emilio Insom

UMR EcoBio - University of Rennes1, Station biologique, Paimpont:

Denis Piron, Guenola Peres, Daniel Cluzeau

Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria– Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo, Roma:

Anna Benedetti, Gianluca Renzi

Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria– Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo, Gorizia:

Flavio Fornasier, Emanuela Vida

Prefazione

Da sempre la Regione Lombardia dedica particolare attenzione e rilevante importanza alla qualità dell'ambiente e della sua salute; innumerevoli sono state le iniziative portate avanti dalla Direzione Ambiente, energia e sviluppo sostenibile, tra cui il Progetto Soil che oggi vede in questo rapporto la pubblicazione dei risultati di tre anni di lavoro e ricerca applicata. L'iniziatore del progetto Soil è stato il dott. Benazzoli che ha capito l'importanza e voluto mettere il suolo in primo piano mediante una indagine olistica che coinvolgesse il comparto suolo di tutto il territorio lombardo.

In collaborazione con il Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea sono state poste le basi di uno studio innovativo volto ad individuare la qualità, la salute e l'evoluzione dei suoli nel tempo, per una corretta gestione e un utilizzo consapevole di un patrimonio, il suolo, sempre più scarso ed impoverito da una agricoltura a volte cieca e poco sensibile.

Il progetto Soil adotta un innovativo approccio olistico, dall'orientamento multidisciplinare volto a superare l'impiego unidirezionale, anche se valido, di carattere puramente chimico, per valutare la qualità dei suoli. Tale approccio è basato esclusivamente su valori tabellari di concentrazione di sostanze inquinanti ammissibili per le specifiche destinazioni di uso dei suoli, previsto dalla vigente normativa attraverso il Decreto Legislativo 152 del 2006 che tratta la materia dei contaminanti organici e inorganici; si parla di diossine, **PCBs** (policloro bifenili), metalli pesanti e molti altri composti ed elementi.

Il progetto Soil è stato ideato dal prof. Roberto Cenci presso i laboratori del Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea, ed è stato diretto dal prof. Gian Maria Beone dell'Università Cattolica del Sacro Cuore. Alla realizzazione del progetto hanno partecipato istituti nazionali e prestigiose Università italiane ed europee.

Il progetto Soil è servito a valutare la qualità, lo stato di salute e di compromissione del suolo agricolo, urbano e di aree ad elevata industrializzazione. Per ottenere tali informazioni si è ricorso ad un approccio olistico, unico nel suo genere, che ha preso in considerazione la chimica, la fisica e la biologia del suolo, permettendo di ottenere una visione del livello di qualità dei suoli e dei problemi indotti dalla presenza di contaminanti organici ed inorganici più vicina possibile alla realtà. Tali informazioni sono ottenibili solo unendo più tipologie di analisi.

L'elenco degli studi condotti sui campioni raccolti è lungo, meticoloso e di grande importanza poiché ha permesso di realizzare una banca dati unica, ampia e utilizzabile da molti esperti nel campo ambientale e non solo.

Come precedentemente accennato nei campioni di terreno raccolti sono state valutate le concentrazioni di metalli pesanti, metalloidi, macroelementi, radionuclidi, diossine, furani ed altri composti organici; carbonio totale e organico, pH e tessitura. Dal punto di vista biologico sono state caratterizzate le popolazioni batteriche e protozoarie, oltre all'applicazione di organismi viventi quali il trifoglio ed uno specifico batterio, in veste di biosensori in grado di rispondere alla presenza di inquinanti genotossici e metalli. Il progetto rappresenta quindi un vero ricettacolo di nuove informazioni per i suoli lombardi e non solo.

In aggiunta agli aspetti chimico-fisici e biologici sono stati utilizzati campioni di muschio per valutare le ricadute atmosferiche di contaminanti al suolo. Tale aspetto ha permesso di ottenere una stima degli apporti e degli aumenti di concentrazione dei metalli pesanti nei suoli lombardi nell'arco degli anni e di valutare nel contempo l'impatto antropico sulla qualità dell'aria.

Quali risultati sono stati ottenuti con il progetto SOIL? Come prima cosa il progetto ha permesso di scrivere il "punto zero" o punto di partenza sui suoli lombardi, ha consentito di ottenere una visione più vicina possibile alla realtà circa la salute, il livello di compromissione e di qualità dei suoli lombardi. Tali aspetti non erano mai stati analizzati e considerati prima di oggi.

Le informazioni di cui siamo in possesso verranno ulteriormente arricchite dai futuri monitoraggi. Occorre infatti sottolineare la necessità di implementare i punti di campionamento per avere una visione più accurata, allargando la lente di ingrandimento, e tornando su alcuni punti per valutare le eventuali differenze (incrementi o diminuzioni della concentrazione dei contaminanti nei suoli), per poter agire con suggerimenti e/o norme per la salvaguardia del patrimonio suolo.

Lo studio di oggi e i dati che si otterranno nei successivi anni consentiranno per i prossimi decenni una gestione corretta e attenta delle attività che si svolgono sopra e nel suolo, permetteranno di ottenere una maggiore qualità dei prodotti coltivati. Tutto ciò comporta un uso veramente sostenibile del suolo, ed uno sviluppo di politiche mirate alla salvaguardia della salute dei cittadini.

Indagine conoscitiva della qualità e dello stato di salute dei suoli lombardi

Sommario

Introduzione	11
<i>Fase I - Monitoraggio su tutto il territorio della Regione Lombardia</i>	<i>15</i>
Capitolo I: Monitoraggio chimico-fisico su tutto il territorio della Regione Lombardia	17
1. Introduzione, materiali e metodi.....	17
1.1 Superficie indagata e campionamento.....	17
1.2 Preparazione dei campioni	18
1.3 Analisi effettuate	18
2. Risultati	20
2.1 La tipologia dei suoli indagati	20
2.2 Il pH	21
2.3 La tessitura e la Capacità di Scambio Cationico	22
2.4 La Sostanza Organica ed il rapporto C/N.....	23
2.5 I macroelementi.....	24
2.6 Gli Elementi Potenzialmente Tossici	25
3. Conclusioni.....	27
APPENDICE: lista dei campioni e risultati analitici complessivi.....	29
Capitolo II: Radionuclidi in campioni di suolo della Regione Lombardia.....	45
1. Introduzione	45
2. Materiali e metodi	45
2.1 Prelievo e manipolazione del campione	45
2.2 Analisi per spettrometria gamma diretta	45
2.3 Radionuclidi analizzati.....	45
2.4 Espressione dei dati.....	46
3. Risultati e Discussione	46
3.1 Attività di ^{60}Co e di ^{134}Cs	46
3.2 Attività di ^{137}Cs	47
3.3 Attività di ^{40}K	52
APPENDICE A.1.....	55
APPENDICE A.2.....	57
Capitolo III: Campioni di muschio come indicatori della deposizione atmosferica di elementi potenzialmente tossici	61
1. Introduzione	61

2.	Materiali e metodi	61
2.1	La scelta dei punti ed il campionamento	61
2.2	Il campionamento	62
2.3	La preparazione dei campioni	62
2.4	La quantificazione degli elementi potenzialmente tossici (EPT)	62
3.	Risultati	62
3.1	Contenuto degli EPT nei muschi	62
3.2	Il fattore di arricchimento (F.A.)	63
3.3	Il Rateo di Deposizione (R.D.)	65
4.	Conclusioni.....	66
Capitolo IV: Analisi di PCDDs, PCDFs, PCBs, PBDEs e OCPs in suoli superficiali della Lombardia.....		69
1.	Introduzione	69
1.1	Descrizione del progetto.....	69
1.2	Area investigata.....	69
1.3	Campionamento	69
1.4	Parametri utilizzati per la definizione dei campioni compositi	70
2.	Materiali e metodi	74
2.1	Materiali e Standards.....	74
2.2	Estrazione	74
2.3	Purificazione di PCDD/Fs, PCBs, PBDEs	74
2.4	Purificazione di OCP	74
2.5	Analisi Strumentale	75
3.	Risultati	76
3.1	Relazione con i valori limiti per i suoli superficiali	76
4.	Conclusioni.....	88
APPENDICE A: Nota informativa sulla TEQ		89
APPENDICE B: Risultati PCDD/Fs		90
APPENDICE C: Risultati PCBs		103
APPENDICE D: Risultati OCPs		116
APPENDICE E: Risultati PBDEs		129
APPENDICE F: Annesso informativo, estratto dal Decreto DL 152-2006		136
Capitolo V: Biomassa microbica e attività enzimatica del suolo della Regione Lombardia		143
1.	Introduzione	143
2.	Materiali e metodi	143
2.1	Campioni analizzati.....	143
2.2	Determinazione della biomassa microbica del terreno	143
2.3	Determinazione delle attività enzimatiche del terreno	144
2.4	Elaborazioni statistiche	144
3.	Risultati e discussione	144
4.	Conclusioni.....	145
APPENDICE		147

<i>Fase II - Monitoraggio su aree a maggior interesse ambientale della Regione Lombardia</i>	151
Capitolo VI: Caratterizzazione chimico-fisica dei campioni di suolo	153
1. Le aree sottoposte ad indagine	153
1.1 Area agricola nelle immediate adiacenze dell'impianto di incenerimento rifiuti in località Parona (PV)	153
1.3 Area agricola ospitante il tratto autostradale nei pressi di Origgio (Milano-Varese)	156
1.4 Sito di Interesse Nazionale (SIN) Brescia Agricola	157
1.5 Area soggetta alla dispersione di cromo esavalente nelle acque sotterranee	160
1.6 Area sede di una fonderia dismessa nei pressi del comune di Darfo Boario Terme (BS)	162
1.7 Area adiacente ad un cementificio nel comune di Broni (PV)	163
2. Conclusioni.....	165
APPENDICE: risultati analitici delle sette aree indagate	166
Capitolo VII: Analisi di PCDDs, PCDFs, PCBs, PBDEs e OCPs in campioni di suolo della Lombardia proveniente da aree sottoposte a maggior pressione antropica.....	175
1. Introduzione	175
1.1 Descrizione del progetto.....	175
1.2 Aree investigate.....	175
2. Materiali e metodi	176
3. Risultati	176
3.1 Tutte le aree eccetto SIN Brescia	176
3.2 L'area SIN Brescia Agricola (BS).....	177
4. Conclusioni.....	180
APPENDICE A: Risultati Termovalorizzatore di Parona (PV)	181
APPENDICE B: Risultati dell'impianto di rigenerazione oli esausti di Pieve Fissiraga (LO)	195
APPENDICE C: Risultati tratto autostradale Milano-Como ad Origgio (VA).....	206
APPENDICE D: Risultati Cementificio (Broni, PV).....	210
APPENDICE E: Risultati Fonderia (Darfo Boario Terme, BG).....	214
APPENDICE F: Risultati Plume di Cromo esavalente (Treviglio, BG)	225
APPENDICE G: Risultati l'area SIN Brescia agricola	243
Capitolo VIII: Valutazione del potenziale tossico e genotossico dei suoli mediante utilizzo del bioindicatore <i>Trifolium repens</i> L.	251
1. Introduzione	251
2. Materiali e metodi	252
2.1 Provenienza dei suoli e disegno sperimentale	252
2.2 Determinazione del potenziale genotossico dei suoli	252
3. Risultati e discussione	253
3.1 Sopravvivenza e crescita delle piante tester	253
3.2 Stima del potenziale genotossico dei suoli	253
3.3 Risultati complessivi	255
4. Conclusioni.....	256
Capitolo IX: Struttura delle comunità dei protozoi ciliati	259

1.	Introduzione	259
2.	Materiali e Metodi	260
2.1	Siti di studio e campionamento	260
2.2	Analisi quali-quantitativa dei protozoi ciliati	261
2.3	Indice di Biodiversità ed analisi statistiche	261
3.	Risultati e Discussione	262
3.1	Composizione tassonomica e C/P Index	262
3.2	Variazione spaziale del numero delle specie, abbondanze e Indici di Biodiversità	264
3.3	Confronto tra i 4 siti di campionamento: composizione tassonomica, diversità, indice C/P e loro variazione spaziale	265
3.4	Interazione tra le comunità dei protozoi ciliati e i parametri abiotici	267
4.	Conclusioni.....	268
Capitolo X: Valutazione della comunità dei lombrichi		273
1.	Introduzione	273
2.	Materiali e Metodi	274
3.	Strategia di campionamento dei lombrichi	274
4.	Analisi dei dati.....	275
5.	Risultati	275
5.1	Area Parona (P)	277
5.2	Area Viscolube (V)	280
5.3	Area Broni (IT)	284
5.4	Area di diffusione della Plume di Cromo Esavalente (CR).....	287
5.5	Area SIN Brescia Agricola (S).....	291
5.6	Area Darfo Boario Terme (F).....	294
5.7	Origgio (O).....	298
6.	Caratteristiche delle comunità di lombrichi quali bioindicatori nel monitoraggio dei suoli in Lombardia	301
Capitolo XI: Radionuclidi gamma emittenti.....		305
1.	Introduzione	305
2.	Materiali e metodi	305
3.	Risultati e Discussione	305
3.1	Attività di ^{60}Co e di ^{134}Cs	305
3.2	Attività di ^{137}Cs e di ^{40}K	305
APPENDICE A.1.....		307
APPENDICE A.2.....		308
Capitolo XII: Caratterizzazione microbiologica dei suoli		309
1.	Introduzione	309
2.	Materiali e metodi	310
3.	Risultati e Discussione	311
4.	Conclusione	315

Capitolo XIII: Applicazione di un biosensore luminescente per la valutazione della tossicità da diossina e composti diossino-simili	317
1. Introduzione	317
1.1 Disegno sperimentale e obiettivi	318
2. Materiali e Metodi	318
2.1 I campioni di suolo	318
2.2 Trattamento dei campioni di suolo	318
2.3. Estrazione esaustiva	318
2.4. Estrazione della fase biodisponibile	319
2.5. Purificazione degli estratti	319
2.6. Colture cellulari	319
2.7. Trattamento dei dati	321
3. Risultati e Discussione	321
3.1 Risposta del biosensore alle frazioni totali e biodisponibili di diossina e composti diossino-simili	321
4. Conclusioni	323
Capitolo XIV: Biomassa microbica e attività enzimatica dei suoli	327
1. Introduzione	327
2. Materiali e metodi	327
3. Risultati e discussione	327
4. Conclusioni	327
APPENDICE	329
La Valutazione finale	333
La valutazione dei risultati ottenuti mediante lo sviluppo di grafici radar	335
1. Indicatori chimici	335
2. Indicatori biologici	335
Conclusioni	335

Introduzione

Per proteggere, salvaguardare e conservare il suolo occorre prima conoscerlo.

In letteratura è possibile trovare svariate definizioni di “suolo”, di “qualità del suolo” e di “salute del suolo”. Spesso, e soprattutto negli anni passati, il tema centrale delle definizioni era la produttività agricola, la capacità del suolo di sostenere la vita umana e la sua salute attraverso la produzione di materie prime. Ovviamente questi aspetti sono fondamentali e costituiscono degli obiettivi da mantenere presenti per il futuro; ma non si può prescindere dall’ottenere e preservare la salute e la qualità del suolo di per sé.

Una funzione fondamentale che il suolo svolge è la mitigazione degli effetti degli inquinanti. L’ingresso nel suolo di sostanze inquinanti va a minare l’azione mitigatrice che esso ha nei confronti del sistema idrico, ma anche nei confronti dell’atmosfera e della catena alimentare.

La presenza di inquinanti nel terreno e le lavorazioni possono provocare la migrazione o la morte di alcuni organismi, ragione per cui essi vengono scelti come indicatori biologici ad integrazione dei dati chimico-fisici. Perciò per valutare il suo stato qualitativo e di salute, oltre a rilevare la presenza di sostanze inquinanti nel suolo, occorre considerare per esempio anche la biodiversità, specie nei terreni soggetti alle pratiche agricole.

A differenza di quanto si pensava in passato, il suolo è di fatto una risorsa non rinnovabile; per tale motivo tutte le azioni che su di esso si compiono possono avere conseguenze irreversibili. Le cause di perdita del suolo possono derivare da scorrette pratiche agricole, accumulo di rifiuti mal gestito, estrema concentrazione di infrastrutture, attività industriale ed elevata densità di popolazione. La difficoltà nel determinare la qualità o lo stato di salute di un suolo, deriva dal fatto che quasi sempre se ne hanno evidenze nel momento in cui le condizioni hanno già raggiunto il punto di non ritorno. Fondamentale diventa quindi la scelta di buoni indicatori in grado di fornire le informazioni utili sul divenire del sistema suolo, che permettano di ottenere indicazioni che consentano la coniugazione di fattori socio-economici ed ambientali. L’obiettivo è quello di arrivare a gestire le risorse naturali in un’ottica di salute non solo umana (fondamentale), ma anche del sistema ambientale.

Lo **scopo** del progetto è stato quello di operare uno screening della salute e della qualità dei suoli agricoli della Regione Lombardia, tramite un **approccio multidisciplinare chimico, fisico e biologico**, attraverso il quale ottenere il cosiddetto “punto zero”,

ovvero la fotografia delle condizioni attuali dei vari parametri individuati. I dati analitici ricavati potranno essere organizzati all’interno di banche dati per operare confronti con informazioni eventualmente già presenti e con quelle che saranno raccolte in futuro, per individuare le possibili situazioni di inquinamento diffuso o puntuale presenti, dovute alla presenza di sorgenti che emettono sostanze inquinanti. Per questo motivo abbiamo in seguito concentrato l’attenzione su sette aree di particolare interesse ambientale esposte all’emissione di inquinanti nel terreno – e quindi potenzialmente soggette all’accumulo – a causa della presenza di attività antropiche particolarmente degne di ricevere un adeguato controllo, insieme a zone “vittime” di conclamati casi di inquinamento del suolo e delle acque sotterranee. Fra queste vi è uno dei 57 Siti di Interesse Nazionale (SIN).

Il progetto è suddiviso in due fasi: la prima di screening generale nella quale sono stati raccolti ed analizzati 156 campioni di terreno, prendendo in considerazione prevalentemente il suolo adibito all’attività agricola; la seconda fase ha preso in considerazione sette aree dove notoriamente esiste una situazione di criticità comprovata o perlomeno sospetta.

In entrambi i casi i punti campionati sono georeferenziati ma disposti secondo schemi differenti. La strategia di campionamento era invece uguale per entrambe le fasi.

I terreni giunti in laboratorio sono stati preparati e sottoposti ad una serie di analisi: pH, Capacità di Scambio Cationico (CSC), tessitura, carbonio totale, inorganico ed organico, azoto, macroelementi, Elementi Potenzialmente Tossici (EPT) e quantificazione di alcuni radionuclidi gamma emittenti. Nella prima fase del progetto, durante la quantificazione degli elementi potenzialmente tossici mediante estrazione con acqua regia e l’utilizzo di spettrometria al plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS e ICP-OES), abbiamo ottenuto una concentrazione che può essere definita come “pseudototale”; ma, come noto, vi sono importanti parametri e proprietà che entrano in gioco nel regolare la disponibilità dei diversi elementi: pH, capacità di scambio cationico, tessitura, ecc. In generale non è detto quindi che se un elemento è presente in concentrazioni elevate sia anche tutto disponibile. Per disponibile si intende un elemento o sostanza che acquista mobilità e la possibilità di raggiungere il comparto acquoso nonché gli spazi adiacenti agli apparati radicali. È questa la frazione potenzialmente

più pericolosa, ma esiste comunque, indipendentemente da essa, un'altra quantità che è quella che effettivamente gli organismi viventi assumono e metabolizzano, che nel caso delle piante può essere moderata da sistemi di protezione situati a livello radicale. Pertanto esiste la possibilità di trovare campi coltivati contenenti ingenti quantità di sostanze pericolose, senza ritrovarne poi, per esempio, nella granella dei cereali. Questa informazione è molto importante perché permette di gestire al meglio situazioni che a prima vista farebbero pensare alla necessità di drastici interventi, comportanti spese ingenti e la necessità di smettere l'attività esistente.

La ricerca ha visto l'applicazione di bioaccumulatori e bioindicatori. Si tratta di organismi che permettono di approfondire la conoscenza dello stato di salute del suolo. Questi, infatti, non si limitano a restituirci singole informazioni sulla presenza o assenza di determinate sostanze, ma ci offrono una risposta sintetica che dipende dall'interazione di diversi fattori.

Un bioindicatore è in grado di manifestare una risposta precisa in determinate condizioni ambientali, ed è dotato di alcune caratteristiche imprescindibili:

- accessibilità ed ubiquità. Occorre poter campionare facilmente l'indicatore in questione e soprattutto è necessario che sia distribuito su tutto il territorio considerato;
- rappresentatività, cioè buona correlazione con il sito cui appartiene;
- affidabilità, in quanto occorre minimizzare gli errori e che esso sia facilmente quantificabile.

Un bioaccumulatore è in grado di accumulare elevate concentrazioni di sostanze normalmente nocive, senza sviluppare sofferenza.

La necessità di proseguire l'indagine andando oltre alla conoscenza del dato fisico-chimico risiede nel fatto che la vera pericolosità delle sostanze nocive presenti dipende dalla possibilità che esse passino dal comparto suolo alle acque ed agli organismi viventi, cioè diventino mobili. In tal caso esse potrebbero entrare nella catena alimentare e dare origine a fenomeni di biomagnificazione.

Oltre a conoscere il destino della singola sostanza trovata è utile conoscere, come già accennato in precedenza, quali sono gli effetti risultanti dalla simultanea presenza di inquinanti diversi.

Lo sviluppo del progetto ha coinvolto esperti delle aree scientifiche investigate appartenenti ad Università e Centri di Ricerca di livello nazionale e internazionale.

I dati ottenuti sono stati confrontati con i valori contenuti nella normativa internazionale, italiana e regionale. Ad esempio, le norme nazionali che interessano la concentrazione di metalli pesanti nel suolo sono il D.L. 99/1992 [1], che prevede dei limiti di concentrazione per il riutilizzo di fanghi di depurazione in agricoltura, ed il D.L. 152/2006 [2] che nella parte relativa alle bonifiche identifica le concentrazioni soglia di contaminazione il cui superamento impone l'avvio di verifiche sull'eventuale rischio per la salute umana.

Fase I - Monitoraggio su tutto il territorio della Regione Lombardia

Capitolo I: Monitoraggio chimico-fisico su tutto il territorio della Regione Lombardia

Lo scopo del progetto è quello di valutare lo stato di salute e la qualità dei suoli della Regione Lombardia attraverso un approccio multidisciplinare. I terreni campionati provengono prevalentemente da aree dedicate ad attività agricola. Per operare tale selezione ci si è serviti di una preesistente rete di punti georeferenziati nota con il nome di LUCAS e di altri database dai quali sono state ricavate informazioni territoriali che ci hanno permesso di costruire la mappa di campionamento.

Tutto ciò ci ha fornito un disegno di punti distribuiti su tutto il territorio regionale, sul quale abbiamo lavorato con l'intento di ricavare una "fotografia" dello stato di fatto, il cosiddetto punto zero di un'opera che sarebbe auspicabile prolungare negli anni.

I campioni di suolo sono stati sottoposti alle caratterizzazioni chimico-fisiche per determinarne diversi parametri. In seguito è stato fatto il confronto con i limiti stabiliti dalle leggi vigenti in ambito ambientale.

1. Introduzione, materiali e metodi

1.1 Superficie indagata e campionamento

L'estensione dell'area indagata è di 23834 km².



Figura 1. Rete dei punti del Progetto.

La prima fase del progetto ha previsto la raccolta di 156 campioni di terreno dislocati sull'intero territorio della Regione Lombardia (23834 km²). La scelta si è basata su una preesistente rete di estensione europea di punti georeferenziati nota con il nome di LUCAS (Land Use/Cover Area frame statistical Survey, EUROSTAT 2001) [3], all'interno della quale è stata operata una selezione casuale ma con l'applicazione di alcune restrizioni, in modo che i punti ricadessero prevalentemente in aree agricole. Per fare ciò ci si è avvalsi di un modello di campionamento noto con il nome

di *Latin Hypercube Sampling*, metodo adatto alla valutazione della bontà di un disegno di campionamento. Si tratta di una strategia di campionamento "a strati" che permette di rappresentare al meglio la distribuzione delle variabili considerate. Nel nostro caso tali variabili sono costituite da: altezza, pendenza, orientamento della pendenza, curvatura della pendenza ed uso del suolo. Esse vengono definite covarianti, le quali costituiscono *layers* che vengono sovrapposti in modo da ottenere un'unica rappresentazione completa dei dati. Per incrementare le informazioni circa l'uso del suolo già contenute nella rete LUCAS cercando di individuare al meglio la variabilità spaziale, si è ricorsi al CORINE LANDCOVER 2000 (ISPRA) [4], che possiede una risoluzione spaziale di 1000 m. L'obiettivo era calcolare la percentuale di area destinata ad ogni specifico uso di suolo, per poi assegnare un adeguato numero di punti di campionamento. Per quanto riguarda l'elevazione del terreno si è ricorsi al SRTM 90 M (Digital Elevation Database) [5], originalmente prodotto dalla NASA, il quale offre modelli digitalizzati dell'elevazione e della copertura del terreno. Per ogni zona ritenuta adatta al campionamento è stata fornita una tripletta di coordinate WGS84 (World Geodetic System 1984), sulle quali si basa il sistema satellitare di navigazione GPS. Uno di questi tre riferimenti è stato poi scelto come punto ufficiale di campionamento. Per la seconda fase la scelta della disposizione dei punti da campionare è stata fatta in modo da coprire nella maniera più esaustiva l'area oggetto di indagine, come precedentemente spiegato.

Il campionamento del suolo è stato effettuato da AEIFORIA, spin-off dell'Università Cattolica del Sacro

Cuore. Qualora le condizioni del sito erano tali da non permettere lo svolgimento del campionamento, si è provveduto ad individuare la situazione più adatta alla raccolta del terreno. Ciò comportava una certa distanza da strade e corsi d'acqua (25 m circa) e ovviamente la presenza di un campo o prato adibiti ad attività agricola. In questi casi le nuove coordinate venivano appuntate sulla scheda di campionamento, indicando la distanza dal sito originale.

La scheda di campionamento è un documento importante associato ad ogni punto campionato. In essa si trovano il nome della località, l'altezza sul livello del mare, le coordinate geografiche, le foto scattate durante la raccolta dei campioni. Inoltre, essa contiene una serie di informazioni raccolte *in situ* volte a descrivere in maniera dettagliata il contesto ambientale (presenza di colture in campo, vicinanza di abitazioni, insediamenti industriali, strade, ferrovie, palizzate e tutto ciò che fosse ritenuto utile dai campionatori).

Per ogni sito di indagine, a partire dal punto esatto individuato grazie alle coordinate, è stato costruito un quadrato di 20x20 m, suddiviso in 25 subunità di 4x4 m. Di queste ne sono state selezionate random 15, per ognuna delle quali è stata prelevata una carota di terreno del diametro di 2,6 cm e della profondità di 30 cm. La scelta di tale profondità è legata alla considerazione della porzione di terreno interessata dalle lavorazioni agricole. I 15 campioni sono stati uniti e omogeneizzati in campo a formare un campione composito, da trattare in laboratorio come singolo campione di campo per l'analisi. Lettieria, radici, sassi e altro materiale grossolano sono stati rimossi in campo durante le procedure di campionamento (Cenci 2008) [6].

La quantità di terreno ottenuta e destinata alle nostre analisi era di circa 2 kg.

1.2 Preparazione dei campioni

I campioni di terreno destinati alle diverse analisi vengono fatti essiccare all'aria aperta per almeno 48 ore; in alternativa possono essere posti in stufa ad una temperatura massima di 40°C.

Una volta essiccati vengono sottoposti a disaggregazione meccanica che permette la separazione dello scheletro dalla terra fine (limite 2 mm). La granulometria di una parte dei campioni viene portata a 200 µm attraverso l'uso di un mulino a giare e sfere di agata.

1.3 Analisi effettuate

2.3.1 GRADO DI REAZIONE DEL SISTEMA: pH DEL SUOLO

Il pH del sistema suolo-acqua è indice del suo grado di reattività e rappresenta la misura della sua acidità o alcalinità.

Per individuarlo poniamo 20 g di campione essiccato a contatto con 50 mL di acqua bidistillata in becker da 100 mL per 2 ore, agitando con una bacchetta di vetro ogni

dieci minuti circa. La lettura viene effettuata per via potenziometrica con un elettrodo a vetro.

Tabella 1: giudizi relativi al pH del sistema suolo-acqua

VALORE	GIUDIZIO
0-5.5	Molto acido
5.5-6.1	Acido
6.1-6.8	Subacido
6.8-7.3	Neutro
7.3-8.0	Subalcalino
8.0-8.6	Alcalino
>8.6	Molto alcalino

1.3.2 LA TESSITURA

La frazione inorganica di suolo composta da particelle con diametro inferiore ai 2 mm è detta terra fine, ed è composta da argilla, limo e sabbia. La loro composizione percentuale rappresenta la tessitura di un suolo. Una volta note le percentuali di distribuzione è possibile risalire alla categoria di appartenenza del terreno in analisi.

La tessitura è una caratteristica importante a livello agronomico perché ad essa sono associate proprietà quali la permeabilità del terreno ad aria e acqua, la lavorabilità e la capacità di mettere a disposizione elementi nutritivi (ma anche quelli potenzialmente tossici). Essa è permanente nel tempo.

Per quanto riguarda il metodo analitico occorre pesare 10 g di terreno essiccato e porli in agitazione per due ore a contatto con 200 mL di acqua bi distillata e 10 mL di esametafosfato di sodio.

Terminata l'agitazione occorre recuperare quantitativamente la sospensione e porla in un levigatore di Andreasen, portando a volume sempre con acqua bidistillata. Fatto ciò occorre chiudere il levigatore ed agitare il contenuto. Dopo averlo posato su una superficie piana le varie frazioni inizieranno a depositarsi; trascorso 1 minuto e 32 secondi si effettua il primo prelievo di 10 mL di soluzione e lo si pone in stufa a 105°C. Da esso si ricaverà il quantitativo di limo e argilla. In seguito occorre fare un ulteriore prelievo dopo sedici ore per individuare il quantitativo di argilla. Avendo a disposizione queste due informazioni, attraverso una serie di calcoli, è possibile determinare la distribuzione percentuale delle tre frazioni.

1.3.3 LA CAPACITA' DI SCAMBIO CATIONICO

La capacità di scambio cationico rappresenta la quantità di cationi scambiabili adsorbiti sulla superficie di uno scambiatore.

Lo scambio ionico è uno dei principali meccanismi con cui il terreno trattiene o mette a disposizione elementi quali il Ca^{2+} , il Mg^{2+} , il K^+ , il Na^+ e lo ione ammonio NH_4^+ . Quindi la CSC è un indice della potenziale fertilità chimica del terreno. Il complesso scambiatore è costituito dalle particelle solide che hanno dimensioni inferiori a 0,1 micron, dotate di elettronegatività; tali particelle rientrano nella classe granulometrica dell'argilla e sono rappresentate per lo più dall'humus e dai minerali

argillosi propriamente detti. A valori alti di pH si comportano come colloidali elettronegativi anche gli idrossidi di Fe e di Al.

In sintesi il valore della CSC dipende dal tenore in argilla, dalla natura dello scambiatore e dal pH. Terreni con bassa CSC:

- sono poveri in elementi nutritivi
- le piante manifestano in modo più o meno marcato la carenza di K, Ca e Mg
- sono in genere poveri anche in N e P a causa della modesta dotazione di sostanza organica.

Terreni con alta CSC:

- sono potenzialmente ricchi in elementi nutritivi, ma la valutazione deve essere confrontata con il tasso di saturazione basica (basi scambio/CSC), e con il pH del terreno:

- pH < 5-5,5 pur in presenza di una elevata CSC la dotazione di elementi nutritivi è bassa;
- pH 6-7,5 ottima fertilità potenziale;
- pH 7,5-8,5 il terreno avrà un tasso di saturazione basica elevato, prossimo al 100%;
- pH > 8,5, saturazione basica 100%, CSC elevata diventa un difetto.

Analiticamente la CSC viene individuata mediante l'impiego di una soluzione di cloruro di bario tamponata a pH 8,2 con trietanolammina, per saturare con il bario tutto il complesso colloidale. Fatto ciò si tratta il terreno con solfato di magnesio così che una parte del magnesio scambi tutto il bario adsorbito. Nella soluzione si determina il magnesio residuo e per differenza si ottiene quello che ha spostato il bario, che è pari al valore della CSC.

La quantità di terreno da pesare è di 2 g, alla quale vanno aggiunti 25 mL di cloruro di bario; seguono un'agitazione manuale di 3 minuti, un riposo di 5, nuovamente un'agitazione di 3 minuti ed infine una centrifugazione a 12000 giri per 10 minuti. Questa serie di operazioni viene ripetuta per tre volte per aumentare l'accuratezza dell'analisi, quindi si aggiungono ai terreni 25 mL di acqua bidistillata, si centrifuga, si elimina l'acqua e si pesano i campioni. Questo permette di individuare la quantità di acqua trattenuta. Infine si ripete il procedimento fatto con il cloruro di bario usando questa volta il solfato di magnesio, del quale ne verrà recuperata un'aliquota di 10 mL che, assieme a 10 mL di soluzione tampone a pH 10 e all'indicatore nero eriocromo T, verrà titolata con EDTA. Il dato ricavato dalla titolazione viene trasformato attraverso opportuni calcoli nel valore della CSC.

1.3.4 IL CONTENUTO DI CARBONIO TOTALE ED AZOTO

Il contenuto di questi due elementi viene determinato attraverso l'uso dell'analizzatore elementare. Per questa analisi viene pesato circa 1 g di terreno che, all'interno di un crogiolino, subisce una combustione rapida e completa all'interno di una fornace in eccesso di ossigeno. I gas in uscita vengono sottoposti ad ossidazione e riduzione che permettono di ottenere CO₂ per la misura del carbonio ed

azoto elementare. La quantificazione avviene in base al tempo di uscita per via cromatografica.

Rispetto al carbonio ricaviamo il contenuto totale, dal quale andrà sottratto il dato inorganico (calcare totale) per ottenere la percentuale di carbonio organico. Tale valore è utile per individuare approssimativamente il contenuto percentuale di sostanza organica, mediante una moltiplicazione per un fattore pari a 1,724.

Attraverso il rapporto fra il carbonio organico e l'azoto otteniamo un dato che è significativo per il destino della sostanza organica nel terreno; il suo valore ottimale è attorno a 10. Se si è al di sopra di tale valore si va verso la conservazione e la stabilizzazione della sostanza organica, al contrario al di sotto del valore 9 prevale la sua mineralizzazione e quindi il consumo.

1.3.5 IL CALCARE TOTALE

La determinazione del contenuto in carbonio inorganico viene associata alla quantità di carbonato di calcio presente nel campione, ottenuta mediante l'utilizzo di un calcimetro.

L'analisi consiste nel pesare un grammo di terreno ponendolo in una beuta; poi si prepara una provetta in cui si versano 5 mL di acido cloridrico 1:1, la quale deve essere collocata all'interno della beuta mediante l'uso di una pinza, in modo che non si rovesci il contenuto. Lo strumento utilizzato è il calcimetro di De Astis, il quale è costituito da un cilindro graduato la cui scala è relativa alla percentuale di carbonato di calcio contenuta nei campioni. Quando l'acido sarà in contatto con il terreno, in caso di presenza di carbonati, avverrà una reazione che provocherà la formazione di anidride carbonica; questa, trovandosi in un sistema chiuso, passerà all'interno di un tubo ed andrà a spostare una quantità d'acqua pari al suo volume, ed essendo una reazione stechiometrica, avremo il contenuto percentuale in carbonato di calcio. Da questo, grazie a semplici calcoli, si ottiene la quantità di carbonio inorganico presente.

1.3.6 LA DETERMINAZIONE DEI MACROELEMENTI

Gli elementi da noi indagati sono: alluminio, calcio, potassio, ferro, magnesio, fosforo, silicio e titanio.

Lo strumento attraverso il quale si effettua l'analisi è lo spettrofotometro XRF, una tecnica analitica non distruttiva che permette di individuare la composizione elementale di un campione attraverso la radiazione di fluorescenza X. Per questa analisi quindi non serve preparare il campione con una mineralizzazione, ma si utilizza la frazione a 200 µm.

I campioni vengono irraggiati con raggi X e gamma ad alta energia. I fotoni incidenti promuovono un elettrone ad uno stato energetico maggiore, lasciando una lacuna che verrà colmata da un altro elettrone, che libererà energia attraverso un fotone di fluorescenza. Tale radiazione di fluorescenza emessa ha uno spettro caratteristico che rende riconoscibile e quantificabile ogni singolo elemento.

1.3.7 LA MINERALIZZAZIONE E LA QUANTIFICAZIONE DEGLI ELEMENTI POTENZIALMENTE TOSSICI (EPT)

La mineralizzazione dei campioni viene fatta attraverso una mineralizzazione con acqua regia che permette di estrarre gli elementi di nostro interesse,

La procedura prevede di effettuare una pesata di 0,5 g di campione e di porli a contatto con acqua regia. I campioni vengono quindi riscaldati a riflusso per 120 minuti. Trascorso tale periodo di tempo occorre recuperare quantitativamente i campioni e portarli a volume con acqua demineralizzata, per poi sottoporli a filtraggio.

Sui campioni mineralizzati viene effettuata la determinazione degli elementi potenzialmente tossici. Assieme ai campioni del progetto occorre sempre inserire almeno due bianchi (campione senza terreno ma acqua regia) ed un certificato (es. BCR 141 R), che subiranno lo stesso trattamento degli altri campioni e che serviranno per valutare l'accuratezza della procedura.

Gli elementi che il progetto prevedeva di quantificare sono i seguenti: arsenico, berillio, cadmio, cobalto, cromo, rame, mercurio, manganese, molibdeno, nichel, piombo, antimonio, selenio, stagno, tallio, vanadio e zinco.

L'analisi è stata eseguita mediante l'uso dello spettrometro di massa (ICP-MS) e di quello ad emissione ottica (ICP-OES). Entrambi gli strumenti hanno una torcia al plasma che permette di determinare diversi elementi attraverso due diversi tipi di detector. L'ICP-OES si basa sull'emissione tipica di ogni elemento (ogni elemento emette a certe lunghezze d'onda). Nell'ICP-MS vengono invece quantificati gli ioni separati nell'analizzatore di massa in funzione del rapporto m/z.

La scelta di due strumenti diversi è dovuta alla necessità di un'alta precisione di indagine e verte ad eliminare eventuali interferenze.

Assieme ai campioni del progetto occorre inserire in analisi anche un terreno certificato di riferimento, nel caso specifico si sono utilizzati i BCR 141 R, 142 R e 143 R; questo permette di verificare la qualità del dato.

Occorre preparare una retta di calibrazione, ottenuta tramite l'analisi di almeno cinque campioni a concentrazioni note e crescenti, ricadenti nel range dei valori dei campioni indagati. Lo strumento si servirà di tale retta per restituirci i valori dei vari elementi dei singoli campioni. Una volta ottenuti i dati sono stati confrontati con i limiti di legge vigenti per individuare eventuali sforamenti.

Il mercurio viene quantificato mediante spettrometria di assorbimento atomico.

L'analisi viene effettuata sui campioni di terreno a 200 μm senza mineralizzazione, pesandone circa 1 g e ponendolo in una navicella di nichel. Esso all'interno dello strumento viene essiccato e successivamente decomposto termicamente, in corrente di ossigeno, secondo un ciclo di riscaldamento predeterminato. I prodotti gassosi di decomposizione contenenti i vapori di mercurio sono trasportati dal flusso di ossigeno attraverso il tubo di decomposizione. Il flusso gassoso incontra

quindi una reticella d'oro che funge da trappola selettiva per il mercurio, con formazione di amalgama.

Successivamente, mediante rapido riscaldamento, il mercurio viene liberato dall'amalgama e trasportato dal flusso di ossigeno all'interno di una cella di misurazione dove è effettuata la lettura spettrometrica.

Lo strumento contiene due curve di calibrazione che coprono valori di concentrazione fino a 5 mg kg^{-1} .

Inoltre occorre effettuare la lettura di campioni certificati per accertarsi della correttezza dei risultati.

Ancora una volta abbiamo usato il certificato BCR 141 R, ma anche il 142 R ed il 143 R.

2. Risultati

2.1 La tipologia dei suoli indagati

La Figura 2 mostra i diversi punti campionati, secondo la classificazione europea Soil Atlas of Europe 2005 [7].

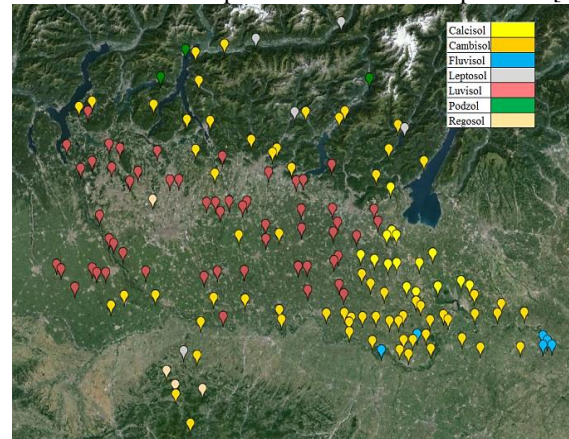


Figura 2. Mappa raffigurante la tipologia di suoli indagati

L'immagine riporta 7 diverse categorie nelle quali i 156 campioni sembrano ricadere; la stragrande maggioranza ricade però in sole 3 categorie: Luvisol, Cambisol e Calcisol. Quasi tutta l'Italia fa parte della categoria Cambisol, ad eccezione di piccole parti nel centro-sud e nelle isole maggiori ricadenti nella categoria Vertisol, la zona estuarina del Po che fa parte dei Fluvisol (così come qualche punto nel mantovano e nel cremonese) e della Pianura Padana centro-occidentale che costituisce la categoria dei Luvisol.

La categoria Cambisol fa riferimento a suoli definiti giovani, che hanno subito un ringiovanimento dei materiali costituenti (il nome infatti è relativo a tale caratteristica). Questi suoli sono molto produttivi dal punto di vista agronomico, ed in Lombardia li ritroviamo nella provincia di Mantova e Cremona, in quella di Pavia, ed al nord a ridosso della zona dei laghi e delle Prealpi.

I Calcisols presentano un significativo accumulo di carbonato di calcio, e generalmente si trovano in zone asciutte. Il nome indica la ricchezza in calcare e in limo di tali terreni. In Lombardia troviamo alcuni punti appartenenti a questa categoria, localizzati tra la provincia di Mantova e quella di Brescia.

L'altra grande categoria riscontrata è quella dei Luvisol. Questi suoli presentano una parte superficiale povera in argilla. In Lombardia essi occupano la fascia centro-occidentale.

Cinque dei 156 punti di terreno campionato ricadono nella categoria dei Leptosols, e sono tutti stanziati in zone montuose (Sondrio, Bergamo e appennino pavese). Questo tipo di suolo ha origine da materiale ghiaioso e ricco di calcare proveniente dall'erosione dei rilievi adiacenti. Dato lo sviluppo pedogenetico limitato, questi suoli non possiedono una grande struttura.

Sei punti del mantovano e cremonese, data la vicinanza al fiume Po, rientrano nella categoria Fluvisols, che raccoglie terreni giovani situati in depositi alluvionali. Essi presentano una buona fertilità.

L'ultima categoria presente, in soli tre punti, è quella dei Podzols, suoli acidi con buon accumulo di sostanza organica, alluminio e ferro. I punti in questione si trovano in provincia di Como e nel nord di quella di Brescia.

2.2 Il pH

La Figura 3 mostra i valori di pH ottenuti su tutti i campioni.

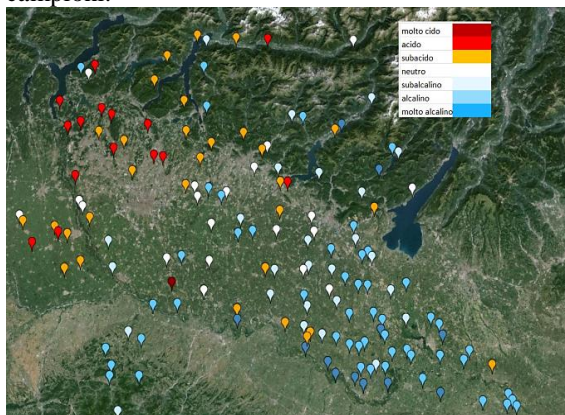


Figura 3. Mappa dei valori di pH riscontrati

Si può notare che nella parte sud-orientale della regione il pH è tendenzialmente alcalino ed in particolare nelle province di Mantova, Cremona e nella parte appenninica pavese. Nel lodigiano e bergamasco i valori si spingono verso la neutralità.

Nella parte nord-occidentale della regione invece il pH assume valori che rientrano nella categorie "subacido" ed "acido", specie nelle province di Varese, Monza-Brianza, Como e nella parte occidentale pavese.

Per quanto riguarda le sette aree critiche indagate durante la seconda fase, si può dire che i loro valori rispecchiano la tendenza generale della zona di appartenenza. Il sito di Origgio ha evidenziato in tutti i suoi punti valori di pH molto acido, inferiori quindi al 5,5. Scendendo verso sud si incontra la seconda area presa in esame, quella adiacente all'inceneritore di Parona; anche in questo caso il pH è in linea con la tendenza generale del contesto, e presenta valori che vanno dal molto acido al subacido.

Per quanto riguarda l'impianto di rigenerazione di oli Viscolube, il pH sembra scostarsi da quanto riscontrato durante la prima fase. Qui infatti esso tende maggiormente alla neutralità ed all'alcalinità, mentre nelle adiacenze dell'impianto sembra essere maggiormente acido. Occorre precisare che a circa 9 km in direzione sud era stato rilevato un singolo punto a carattere molto acido.

Il cementificio in provincia di Pavia ed il Sito di Interesse Nazionale a Brescia, presentano valori di pH rientranti nella categoria "subalcalino", ovvero compresi tra 7,3 ed 8,00 e coerenti con il contesto.

Anche l'area di diffusione della plume di Cr(VI) è in linea con i valori riscontrati nelle adiacenze, ma in questo caso il pH passa da subacido, a neutro ed alcalino. Ovviamente occorre ricordare che i punti appartenenti a questa zona si articolano su 14 km, ed è quindi normale che mostrino una certa variabilità.

Anche i punti dell'area circostante la fonderia dismessa a Darfo Boario Terme mostrano molta variabilità. Questo potrebbe dipendere dal fatto che parte dell'area è situata ai piedi di un rilievo, e parte in zona pianeggiante nei pressi di un corso d'acqua. A partire dal rilievo il pH passa da acido-subacido, a neutro ed infine alcalino vicino al torrente.

Il pH è coinvolto nella disponibilità degli elementi nutritivi e nella mobilità dei metalli pesanti. Questo ha ripercussioni sull'attività dei microrganismi rispetto al destino della sostanza organica, sulla vita degli organismi vegetali, e sulla maggior parte delle trasformazioni chimiche che avvengono nel suolo.

L'intervallo di pH tra 6 e 7 è quello che, in generale, crea le condizioni più favorevoli alla crescita delle piante, in quanto è a questi valori che gli elementi nutritivi sono più disponibili.

Valori di pH al di sotto del 5,5 abbassano la disponibilità di calcio, magnesio e fosforo, mentre aumentano la solubilità di alluminio, ferro e boro. Fasce di pH superiori ad 8 garantiscono una maggior disponibilità di calcio e magnesio, ma abbassano quella di ferro, manganese, rame, zinco, fosforo e boro. Anche i metalli pesanti risentono dell'influenza del pH del suolo, diventando generalmente più solubili in condizioni acide; questo comporta la possibilità che elementi potenzialmente pericolosi raggiungano le acque sia superficiali che sotterranee.

Il valore del pH dipende da diversi fattori, a seconda che ci si trovi in sistemi naturali o fortemente antropizzati. Nel primo caso sono la pedologia ed il clima a determinarne i valori, mentre laddove l'attività umana è più presente, come nei sistemi agrari, i fertilizzanti e le colture incidono in maniera altrettanto importante.

2.3 La tessitura e la Capacità di Scambio Cationico

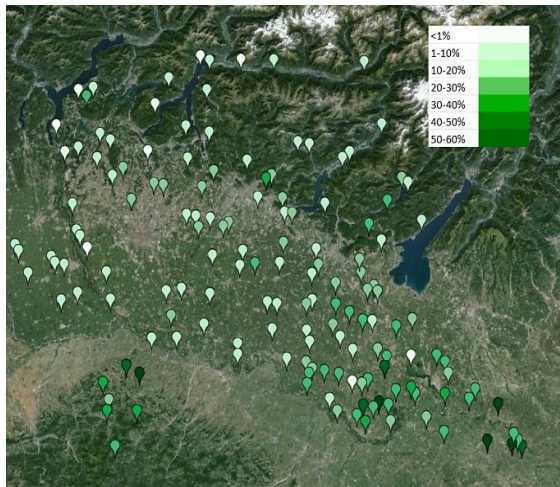


Figura 4. Contenuto in argilla

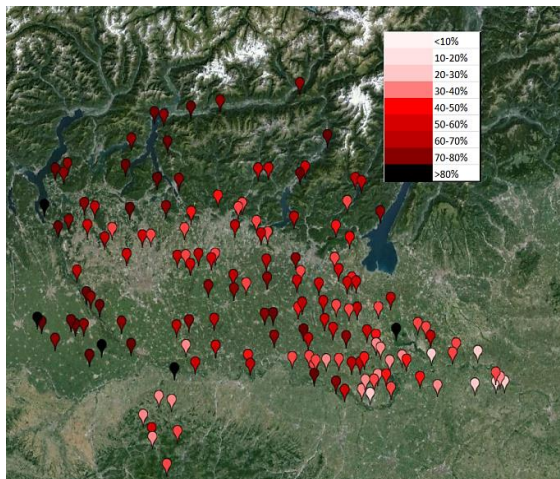


Figura 5. Contenuto in sabbia

Come si evince dalle immagini soprastanti il maggior contenuto in termini percentuali di argilla è dislocato fra le province di Mantova e Cremona e sull'appennino Pavese. La sabbia invece è predominante nella parte orientale e settentrionale della regione. Tali risultati sono in accordo con la distribuzione dei valori di pH già visti.

Il contenuto percentuale di sabbia ed argilla delle sette aree della seconda fase rispecchia l'assetto regionale. Per questo motivo l'argilla presenta valori inferiori al 2% nell'area adiacente alla ex fonderia di Darfo; valori leggermente più elevati ma comunque inferiori al 4% nella zona dell'inceneritore di Parona, e percentuali oscillanti tra il 7 ed il 17% nel SIN di Brescia. Anche nei pressi dell'impianto Viscolube i valori rimangono inferiori al 10%.

Come per il pH, l'area di diffusione della contaminazione di cromo esavalente, presenta al suo interno condizioni tessiturali variabili; la percentuale di argilla oscilla tra il 6% e il 23%, senza un andamento legato alla direzione cardinale. I valori trovati presso Origgio sono invece omogeneamente distribuiti intorno al 13%, sabbia e limo

si ripartiscono in maniera equilibrata intorno al 40%. Infine, il cementificio di Broni sembra essere situato nella zona che presenta la maggior percentuale di argilla, arrivando a sfiorare il 50%.

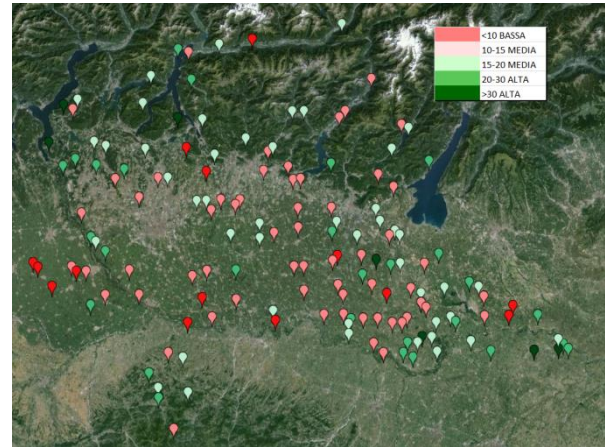


Figura 6. CSC

La maggior parte dei terreni campionati ed analizzati presenta un valore di Capacità di Scambio Cationico medio, ovvero compreso tra 10 e 20 $meq\ 100\ g^{-1}$ di terreno; all'interno di questa fascia prevalgono valori al di sotto del 15%. Pochi campioni hanno bassa CSC (<10 $meq\ 100\ g^{-1}$) e coincidono con i siti dove la sabbia costituisce la componente tessiturale preponderante. In queste zone, dove contemporaneamente coesistono valori di pH acido, prevalenza di sabbia e bassa CSC, il pericolo della disponibilità di elementi potenzialmente tossici, della loro possibile lisciviazione e del conseguente raggiungimento delle acque sotterranee, si fa più concreto.

Per quanto riguarda i punti con più alta CSC (>20 $meq\ 100\ g^{-1}$) essi sono situati nell'appennino pavese, nella provincia di Mantova e in quella di Varese.

Qualche campione nel Mantovano ha presentato valori di CSC superiori a 30 $meq\ 100\ g^{-1}$. Considerando anche i valori di pH trovati, superiori al 7,5, la saturazione basica è prossima al 100% e l'alta CSC diventa un difetto. La condizione ottimale dal punto di vista della fertilità è rappresentata da un'alta CSC e dalla contemporanea presenza di valori di pH compresi tra il 6 e il 7,5. Tale situazione è perlopiù presente nella fascia centrale della regione.

La CSC delle sette aree della seconda fase segue anche in questo caso il contesto regionale. Il sito che presenta i valori più bassi, quasi tutti inferiori a 10 $meq\ 100\ g^{-1}$, è quello ospitante l'inceneritore di Parona. I terreni adiacenti al tratto autostradale ed al cementificio di Broni presentano Capacità di Scambio Cationico bassa ma anche media, mentre per la fonderia e l'impianto Viscolube è sostanzialmente media. Nell'area di diffusione del cromo esavalente è medio-alta, così come nel SIN di Brescia.

2.4 La Sostanza Organica ed il rapporto C/N

Come già precedentemente spiegato, dal valore del carbonio totale ottenuto tramite l'analizzatore elementare, sottraendo il valore del carbonio inorganico, otteniamo il contenuto di carbonio organico dei campioni. Tale valore, moltiplicato per 1,724 ci permette di stimare la sostanza organica presente. La Figura 7 ce ne mostra la distribuzione regionale.

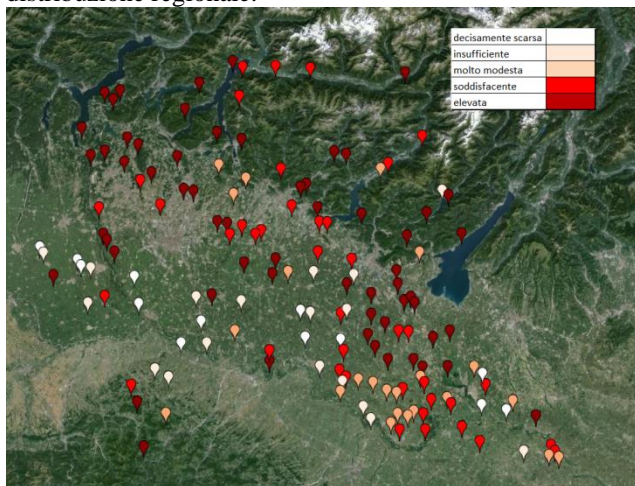


Figura 7. Sostanza organica

I giudizi attribuiti alla sostanza organica non considerano unicamente la sua percentuale, ma la rapportano anche alla percentuale di argilla presente.

In linea generale si può affermare che i punti dove la sostanza organica sembra essere decisamente scarsa o insufficiente sono inferiori a quelli dove la sua presenza è soddisfacente. I terreni con più alta dotazione si trovano soprattutto nella parte settentrionale, mentre la carenza maggiore sembra riguardare le province di Cremona e Pavia. Infatti, anche nelle aree della seconda fase facenti parte di questa provincia, la dotazione di sostanza organica sembra essere decisamente scarsa. Questo è vero soprattutto per l'area dell'inceneritore di Parona, mentre per il cementificio la condizione è variabile. Infatti in un'area totale di 4 km² il contenuto passa da decisamente scarso a soddisfacente. La stessa variabilità la si ritrova anche nelle aree adiacenti all'impianto Viscolube, al tratto autostradale e nella zona interessata dalla diffusione del Cr(VI). La fonderia di Darfo presenta un livello di sostanza organica soddisfacente ed elevato, mentre la situazione più omogenea è rappresentata dal Sito di Interesse Nazionale, dove la sostanza organica è presente in maniera elevata. Come già accennato in precedenza, lo stato di fertilità di un terreno viene determinato anche attraverso il calcolo del rapporto carbonio organico/azoto organico. Tale valore fornisce un'indicazione circa la stabilità della sostanza organica.

Nell'humus propriamente detto il rapporto C/N oscilla fra 9 e 10, perciò valori prossimi a 10 indicano un buon stato di umificazione della sostanza organica.

Un valore basso (sotto al 5) è indice di una mineralizzazione eccessiva della sostanza organica, probabilmente dovuta al tasso di concimazione azotata, mentre valori alti (20-40) sono indice di un basso tenore in sostanza organica, oppure di un eccessivo tenore in sostanza organica indecomposta a causa di un'umificazione stentata per carenza di azoto. In entrambi i casi (rapporto basso o alto) il terreno va ritenuto poco fertile perché la dotazione in elementi nutritivi è modesta a causa dell'immobilizzazione organica o del dilavamento degli elementi nutritivi.

La nostra scala di giudizio considera bassi i valori inferiori a 9, medi quelli compresi tra 9 e 11, ed elevati se superiori a 11.

In nessuna delle sette aree critiche il C/N si è rivelato superiore a 20, né eccessivamente basso (<8). Le due zone adiacenti all'inceneritore e al tratto autostradale presentano un rapporto che ricade nella fascia ottimale, mentre in tutti i punti del SIN esso supera il valore 11, ma rimane inferiore a 15. Negli altri casi il rapporto è variabile essendo sostanzialmente medio nel caso della fonderia di Darfo, prevalentemente basso nella zona di diffusione della plume di contaminata da Cr(VI), e equamente suddiviso tra alto, medio e basso nei pressi del cementificio di Broni. Per quanto riguarda l'impianto Viscolube il rapporto si è rivelato basso in tutti i casi.

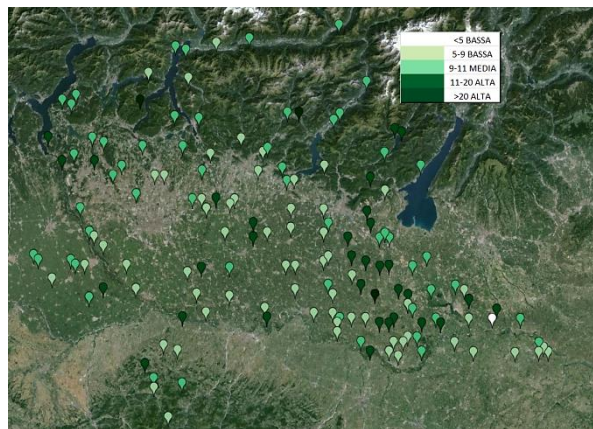


Figura 8. Mappa del rapporto C/N

Nell'intera regione la maggior parte dei campioni ha un rapporto C/N basso, compreso tra 5 e 9. Ciò significa che in questi casi prevale il fenomeno della mineralizzazione, e che la sostanza organica presente viene rapidamente consumata. Questi punti sono omogeneamente distribuiti in tutta la regione. In un unico punto (terreno coltivato a mais e campionato in gennaio) in provincia di Mantova il rapporto è risultato inferiore a 5. I valori ricadono nella fascia ottimale prevalentemente nelle province di Como, Lecco, Varese e Sondrio, ma anche nella parte settentrionale di quelle di Bergamo, Brescia e Pavia. In questo caso, proprio quei punti scarsamente dotati, si rivelano essere quelli con rapporto C/N ottimale. La provincia di Mantova presenta una grande variabilità di

situazioni, possedendo diversi punti con rapporto superiore a 20, ed un punto maggiore a 30.

2.5 I macroelementi

I risultati ottenuti sono stati espressi in percentuale ed elaborati statisticamente in modo da ottenere informazioni riassuntive e descrittive dell'andamento regionale.

Tabella 2: statistica dei valori dei macroelementi per tipologia di suolo

Calcisol	min	media	dev.st	mediana	95°	max
Na %	0,44	0,55	0,06	0,55	0,63	0,64
Mg %	0,76	1,46	0,41	1,51	2,03	2,29
Al %	2,6	5,6	1,4	5,7	7,1	7,5
Si %	22	25	2	25	27	29
P %	0,08	0,14	0,1	0,11	0,29	0,44
K %	1,37	1,57	0,12	1,61	1,74	1,75
Ca %	0,59	6,5	3	7,9	8,9	9,1
Ti %	0,23	0,36	0,08	0,34	0,5	0,53
Fe %	1,97	2,8	0,56	2,7	3,6	4,2

Cambisol nord	min	media	dev.st	mediana	95°	max
Na %	0,12	0,53	0,3	0,48	1,09	1,18
Mg %	0,33	1,59	1,02	1,29	3,76	4,72
Al %	2,57	6,55	1,55	6,71	8,56	8,65
Si %	16,4	24,3	3,36	24,2	29,8	30,9
P %	0,05	0,17	0,15	0,13	0,3	0,84
K %	0,16	2,02	0,92	1,82	3,62	4,51
Ca %	0,43	3,67	4,93	2,07	12,2	23,3
Ti %	0,14	0,41	0,11	0,41	0,61	0,64
Fe %	0,92	3,28	0,98	3,58	4,53	4,82

Cambisol sud	min	media	dev.st	mediana	95°	max
Na %	0,09	0,67	0,64	0,25	1,11	1,24
Mg %	0,77	1,59	1,39	0,58	2,5	2,56
Al %	4,45	6,79	6,97	1,04	8,14	8,49
Si %	20,5	25,3	25,2	1,86	28,2	28,5
P %	0,04	0,12	0,1	0,11	0,22	0,76
K %	0,92	1,93	1,94	0,33	2,43	2,53
Ca %	0,76	3,95	2,86	3,34	11,2	13,1
Ti %	0,23	0,38	0,37	0,07	0,48	0,51
Fe %	1,74	3,4	3,42	0,92	4,97	5,32

Luvisol	min	media	dev.st	mediana	95°	max
Na %	0,34	0,72	0,22	0,7	1,04	1,21
Mg %	0,55	1,03	0,48	0,89	2,2	2,7
Al %	4,7	6,7	0,86	6,7	8	9,1
Si %	20	26	2	26	30	31
P %	0,06	0,14	0,06	0,14	0,24	0,37
K %	1,22	1,78	0,26	1,74	2,3	2,5
Ca %	0,39	1,7	2,4	0,9	5,6	14,1
Ti %	0,24	0,4	0,08	0,39	0,56	0,59
Fe %	0,93	3	0,69	3	4,5	4,7

Fluvisol	min	media	dev.st	max
Na %	0,4	0,55	0,13	0,7
Mg %	1,94	2,1	0,1	2,3

Al %	6	7,4	0,9	8,6
Si %	24	24	0,39	25
P %	0,07	0,08	0,02	0,11
K %	1,92	2,1	0,18	2,4
Ca %	1,18	4	1,79	6,7
Ti %	0,33	0,39	0,04	0,44
Fe %	3,3	4,2	0,71	5,1

Leptosol	min	media	max
Na %	0,24	0,8	1,53
Mg %	1,25	1,9	2,2
Al %	6,5	7,1	7,9
Si %	21	23	27
P %	0,1	0,16	0,24
K %	0,9	2,3	3,3
Ca %	2,4	3,1	4,1
Ti %	0,33	0,46	0,67
Fe %	3,6	4,4	5,7

Regosol	media	dev.st
Na %	0,38	0,13
Mg %	1,64	0,91
Al %	5,6	1,17
Si %	22	2,3
P %	0,07	0,01
K %	1,96	0,14
Ca %	12	6,1
Ti %	0,3	0,07
Fe %	2,8	0,6

Come si evince dalle tabelle con i risultati, le percentuali dei diversi elementi sono simili per tutte le categorie di suoli.

Per tutte le categorie l'elemento maggiormente presente è il silicio, compreso tra il 22 ed il 30%. Tale valore appartiene ai Luvisol, ed infatti abbiamo potuto constatare che proprio questa categoria di terreni possiede una maggior percentuale di sabbia nella tessitura.

Il secondo elemento generalmente più presente in tutti i gruppi è l'alluminio, con valori che si aggirano intorno all'8%. Il ferro oscilla fra il 3% dei Calcisols ed il 5,7% dei Leptosols, ed è leggermente inferiore al 5% nelle altre categorie maggiori.

Il calcio presenta differenze di percentuale, essendo pari al 12% in tre punti dell'appennino pavese, vicino al 10% nei Cambisol della parte sud della regione, circa il 9% nei Calcisol mantovani, il 6% nei Cambisol della fascia settentrionale, e drasticamente ridotto all'1,3% nei Luvisol.

Il fosforo è in tutti i casi inferiore allo 0,5%, ma da uno sguardo alle valutazioni date dal manuale "Metodi normalizzati di analisi del suolo" (SISS, edagricole) [8], si

può affermare che un terreno è povero di fosforo se la sua percentuale è inferiore allo 0,10%. È il caso dei punti ricadenti nella categoria Regosol (appennino pavese). I terreni mantovani e cremonesi sono sufficientemente dotati (Cambisols e Calcisols), mentre il resto dei suoli ricade nella classe di giudizio “ben dotati”. Tali giudizi fanno riferimento unicamente alla dotazione del suolo e non alla sua capacità di rifornire nell'immediato le colture.

Magnesio e potassio presentano valori simili in tutti i suoli ed oscillanti tra l'1 ed il 3%. Per quest'ultimo si considerano ben dotati quei suoli che ne presentano una percentuale superiore allo 0,35%. I suoli della Lombardia risultano quindi in ogni caso ricchi di tale elemento.

Il titanio ha un valore di fondo mediamente situato attorno allo 0,5%.

2.6 Gli Elementi Potenzialmente Tossici (EPT)

Le Tabelle 3 e 4 riportano la statistica descrittiva dei dati relativi agli EPT indagati, per tutte le categorie di suoli individuate. Il nostro obiettivo era quello di fornire una descrizione della presenza degli elementi tenendo conto delle diverse tipologie di terreni coinvolte.

Tramite l'utilizzo delle carte tematiche pedologiche abbiamo potuto suddividere la superficie lombarda in aree omogenee. Il passaggio successivo è stato quello di operare un'analisi statistica che consentisse di individuare il 90° o il 95° percentile dei dati in possesso.

Al fine di operare una corretta analisi statistica occorre considerare quelle categorie con un set di dati composto da almeno una decina di campioni. Allo scopo di eseguire una descrizione generale della distribuzione dei dati, si applicano dei test statistici preliminari quali il calcolo dell'indice di Asimmetria e quello di Curtosi. Quindi si passa alla rappresentazione vera e propria, attraverso descrittori numerici o grafici. Prima di poter stabilire i valori corrispondenti al 90° od al 95° percentile, bisogna escludere i cosiddetti outliers, ovvero i valori anomali. Come indicato nei documenti “*Determinazione dei Valori di fondo Naturale di Metalli e Metalloidi Nei Suoli dell'area del Sito Contaminato di Interesse Nazionale di Via dei Mille a Mardimago*”, marzo 2009 [9], “*Linee guida per la determinazione dei valori del fondo naturale nell'ambito della bonifica dei siti contaminati*”, 2003 [10], e “*Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale*”, 2006 [11], per meglio individuare i valori da poter definire outliers, occorre trasformare le distribuzioni che non appaiono normali, in Lognormali. La normalità delle nostre distribuzioni è stata definita attraverso il test di Kolmogorov-Smirnov.

Una volta raggiunta la normalità e lognormalità, ed aver individuato ed escluso gli outliers dal calcolo del 95° percentile (livello da noi scelto), possiamo capire quale sia il valore al di sotto del quale ricade il 95% dei dati, per ogni singolo elemento.

Gli elementi che hanno più spesso superato i limiti del tabellare A del D. Lgs. 152/06 sono il cobalto, il nichel, il piombo, l'arsenico e lo stagno. Quest'ultimo è praticamente sempre al di sopra di tale livello, a causa di un errore nella formulazione del limite stesso all'interno della norma. Si è verificato un unico caso di superamento del tabellare B relativo all'arsenico.

Come si può notare dalla Tabella 4 alcuni elementi appaiono omogeneamente distribuiti fra le diverse categorie di terreno; altri invece variano la loro concentrazione. In particolare occorre segnalare l'arsenico, il cui 95° percentile supera il limite tabellare A in tutto il corpo centrale e settentrionale della regione. Per questo motivo è normale riscontrare degli sforamenti del limite legislativo inferiore, dovuti alla natura dei terreni. Vanadio berillio, selenio, tallio, e antimonio hanno mostrato pochi superamenti dei relativi limiti - o nessuno - e sembrano essere omogeneamente distribuiti in tutta la superficie lombarda. Anche lo zinco si ritrova equamente distribuito in Lombardia, ma nel suo caso si è registrato qualche sforamento in più.

Molibdeno e manganese non possiedono limiti di concentrazione all'interno del D.Lgs 152/06; la loro presenza appare in entrambi i casi uniforme, essendo però superiore nella parte settentrionale a ridosso dell'arco alpino. In quest'area appaiono maggiormente concentrati anche cadmio e piombo.

Il cobalto nella maggior parte dei casi si dimostra omogeneo ed al di sotto del limite tabellare A, ad eccezione dei terreni appartenenti alla categoria Cambisol nella parte meridionale della regione facente parte della provincia di Pavia. Stesso comportamento è riscontrabile nei casi di cromo, rame e nichel, probabilmente a causa della composizione del materiale di origine tipico del contesto.

Per quanto riguarda il mercurio, la sua presenza nei terreni superficiali è legata quasi esclusivamente alle deposizioni di origine atmosferica. Per questo motivo occorre considerare la totalità dei campioni in fase di calcolo del 95° percentile, che nel caso della regione Lombardia appare ben al di sotto del limite tabellare A del D.Lgs 152/06.

Infine abbiamo confrontato i dati da noi ottenuti con quelli appartenenti ad altri studi (“*Linee guida per lo studio dei valori di fondo naturale di alcuni metalli e semimetalli nei suoli della Liguria*”, luglio 2013 [12]; “*Analisi del contenuto in rame ed altri metalli nei suoli agricoli lombardi*”, 2007 [13]; “*Valori di fondo di metalli e metalloidi nei suoli del Veneto*”, 2010 [14]).

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Tabella 3: valori di ogni elemento per tipologia di suolo

		Be	V	Co	As	Se	Mo	Cd	Sb	Tl	Pb	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn	Hg	Sn
Calcisol	min	0,52	19,57	3,53	5,43	0,68	0,11	0,19	0,36	0,16	18,00	22,94	17,14	422,22	14,07	62,96	0,02	0,46
	max	1,31	84,19	13,64	12,25	1,36	1,73	0,56	0,99	0,40	41,19	39,57	109,18	803,36	34,49	152,41	0,25	1,37
	media	0,96	42,30	9,02	10,48	1,04	0,71	0,32	0,54	0,24	27,00	30,63	33,03	567,77	24,60	93,77	0,06	0,94
	dev,st	0,24	15,49	2,52	2,06	0,23	0,51	0,10	0,21	0,07	7,28	4,38	26,84	133,07	5,89	31,31	0,07	0,29
	50*	1,07	39,22	8,79	10,97	1,07	0,67	0,32	0,43	0,20	23,70	29,27	21,15	547,11	24,19	82,18	0,04	0,90
	95*	1,26	66,09	12,20	12,22	1,36	1,52	0,48	0,92	0,36	38,89	37,84	77,84	799,49	34,23	148,28	0,15	1,34
Cambisol	min	0,34	14,68	4,09	3,66	0,48	0,06	0,03	0,18	0,13	9,37	8,38	11,17	17,67	8,89	30,44	0,02	0,22
	max	2,18	77,39	34,88	45,49	3,91	11,30	5,43	7,00	1,63	152,98	196,35	269,69	4146,81	190,73	1041,41	0,27	39,96
	media	1,06	43,30	13,41	13,51	1,21	1,11	0,40	0,84	0,32	34,41	54,06	48,32	805,88	51,51	115,29	0,07	1,70
	dev,st	0,41	13,46	6,49	6,88	0,56	1,67	0,63	0,89	0,22	25,91	42,24	43,38	630,11	44,18	124,43	0,05	4,63
	50*	1,07	42,62	12,07	11,86	1,12	0,54	0,30	0,59	0,27	25,84	36,90	35,17	696,73	30,10	95,12	0,05	1,02
	95*	1,76	65,05	24,24	27,98	2,08	3,41	0,78	1,67	0,52	89,10	149,73	119,19	1641,66	145,42	149,22	0,17	3,06
Fluvisol (n=6)	min	0,60	32,05	16,77	8,90	0,81	0,41	0,25	0,57	0,14	17,70	96,13	35,14	391,60	102,40	81,44	0,04	0,37
	max	1,91	68,74	25,26	20,67	1,98	1,00	0,42	0,88	0,32	36,36	144,17	85,45	863,44	142,13	130,53	0,07	1,24
	media	1,17	49,98	19,15	13,04	1,39	0,64	0,32	0,74	0,24	24,86	124,20	59,71	687,51	124,61	109,35	0,06	0,78
	dev,st	0,47	14,52	3,17	4,54	0,44	0,28	0,06	0,13	0,07	6,97	17,25	16,24	159,04	14,65	19,18	0,01	0,37
	50*	1,23	48,80	18,18	11,44	1,44	0,53	0,32	0,76	0,25	22,10	126,65	58,66	722,46	124,15	114,91	0,06	0,72
	95*	1,77	67,23	23,79	19,57	1,90	0,99	0,40	0,87	0,31	34,77	141,97	80,28	836,53	141,29	128,62	0,07	1,22
Leptosol (n=5)	min	0,62	23,17	11,55	3,52	0,52	0,45	0,15	0,23	0,21	10,79	14,74	32,34	439,02	20,05	90,96	0,02	0,18
	max	1,66	87,50	24,36	65,84	1,59	1,95	0,39	4,56	0,44	45,38	80,95	164,28	1046,95	66,21	175,17	0,23	4,12
	media	0,99	51,95	16,14	20,83	1,05	1,20	0,25	1,37	0,31	24,83	50,16	82,90	755,83	38,69	126,65	0,09	1,59
	dev,st	0,42	28,03	5,34	26,74	0,40	0,54	0,10	1,86	0,10	13,19	32,31	66,41	220,27	18,93	30,50	0,08	1,51
	50*	0,82	57,55	13,73	4,82	1,10	1,18	0,28	0,28	0,27	20,48	60,30	36,20	771,65	39,55	121,07	0,07	1,06
	95*	1,56	83,49	23,20	57,73	1,51	1,84	0,37	3,95	0,43	42,11	80,33	160,69	1002,87	62,10	165,59	0,20	3,62
Luvisol	min	0,37	20,25	4,98	2,81	0,51	0,03	0,05	0,18	0,12	8,76	14,88	12,11	138,64	12,94	42,50	0,02	0,24
	max	1,46	72,95	22,64	45,42	1,64	3,10	1,24	3,83	0,61	79,66	157,22	88,24	2168,45	168,29	252,70	0,63	4,30
	media	0,93	35,35	9,58	14,87	1,02	0,84	0,31	0,92	0,27	37,90	36,54	30,12	729,27	29,08	99,43	0,10	1,55
	dev,st	0,31	11,50	3,94	7,63	0,30	0,68	0,21	0,66	0,10	18,38	22,48	14,52	438,44	21,49	40,64	0,09	0,97
	50*	0,90	32,95	8,92	13,72	1,03	0,66	0,25	0,78	0,25	37,02	30,62	26,46	639,61	24,66	92,81	0,08	1,34
	95*	1,39	59,69	17,96	29,61	1,45	2,18	0,69	1,79	0,42	72,91	69,87	59,36	1483,51	50,04	173,50	0,19	3,50
Regosol (n=4)	min	0,60	34,09	9,53	5,08	0,85	0,11	0,06	0,31	0,17	13,54	37,27	32,23	529,16	36,39	75,75	0,05	0,36
	max	1,43	44,14	17,23	15,23	1,41	0,80	0,24	1,45	0,35	61,13	155,21	49,23	1400,39	138,67	90,30	0,21	2,49
	media	0,99	39,51	13,03	8,83	1,12	0,46	0,17	0,68	0,26	26,01	78,11	39,12	785,58	74,29	82,26	0,09	1,24
	dev,st	0,45	4,13	3,41	4,49	0,28	0,34	0,08	0,52	0,08	23,42	53,18	7,33	411,63	48,68	7,04	0,08	0,90
	50*	0,96	39,90	12,68	7,50	1,10	0,46	0,20	0,49	0,25	14,68	59,99	37,52	606,38	61,04	81,50	0,06	1,06
	95*	1,42	43,51	16,78	14,21	1,40	0,76	0,23	1,31	0,34	54,24	142,49	47,74	1283,26	130,67	89,66	0,19	2,29
Podzol (n=3)	min	0,23	59,28	9,11	7,67	0,53	0,34	0,30	0,28	0,26	32,50	12,11	62,30	523,09	9,43	132,49	0,05	0,31
	media	0,68	62,50	16,48	25,44	1,30	1,58	0,32	2,08	0,39	71,03	40,94	127,66	602,85	36,86	149,69	0,29	3,09
	max	1,09	64,43	21,23	37,55	2,19	2,82	0,36	4,67	0,51	113,45	61,57	221,61	729,98	52,22	166,61	0,78	7,50

Tabella 4: statistica dei dati degli EPT per tipologia di suolo

(mg*kg ⁻¹) 95° percentile	Be	V	Co	As	Se	Mo	Cd	Sb	Tl	Pb	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn	Hg	Sn
Cambisol nord	1,82	60	15,9	30	1,43	3,2	1,00	1,78	0,52	95	54	53	1716	48	146		3,2
Cambisol sud	1,57	60	22	18	1,64	1,17	0,37	0,78	0,34	31	162	133	1013	160	128		1,48
Luvisol	1,39	48	12,3	23	1,45	1,78	0,69	1,79	0,40	73	56	46	1406	?	131		3,0
Calcisol	1,59	64	12,9	13,4	1,46	1,95	0,40	1,00	0,38	48	40	41	934	34	147		1,33
Tutta la Regione	1,61	65	21	21	1,54	1,79	0,47	1,44	0,42	60	70	66	1180	52	145	0,19	2,4
Limite 152/06 A	2	90	20	20	3	-	2	10	1	100	150	120	-	120	150	1	1
Limite 152/06 B	10	250	250	50	15	-	15	30	10	1000	800	600	-	500	1500	5	350
N° superamenti																	
regione	A	1	0	17	23	2	0	1	0	2	3	6	7	0	14	12	89
156 tot	B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3. Conclusioni

L'obiettivo del presente monitoraggio chimico-fisico è stato quello di creare di una fotografia dello stato di fatto dei suoli lombardi ad uso prevalentemente agricolo.

Le diverse analisi svolte hanno permesso di caratterizzare i suoli dal punto di vista di vari parametri fra i quali le concentrazioni degli elementi potenzialmente tossici (EPT). È possibile affermare che non sono emerse situazioni caratterizzate da particolari criticità ambientali.

APPENDICE: lista dei campioni e risultati analitici complessivi

			COORDINATE					COORDINATE	
CAMPIONI		tipo di suolo	X	Y	CAMPIONI		tipo di suolo	X	Y
001	SO/01	Leptosol	46.22477112	10.19450799	084	PV/02	Luvisol	45.31666644	8.739537965
002	SO/02	Leptosol	46.17050673	9.70238576	085	PV/03	Luvisol	45.31435593	8.561117272
003	SO/03	Cambisol	46.15090514	9.522522872	086	CR/04	Luvisol	45.30614447	9.961815924
004	CO/01	Podzol	46.13755979	9.295675089	087	CR/05	Luvisol	45.30611189	9.910893369
005	LC/01	Cambisol	46.12710691	9.351072044	088	BS/29	Calcisol	45.30445999	10.41951126
006	LC/02	Cambisol	46.0171994	9.369973246	089	MN/03	Calcisol	45.30804928	10.46950418
007	CO/02	Podzol	46.03571195	9.148043847	090	MN/04	Calcisol	45.30493972	10.59717292
008	BS/01	Podzol	46.00719628	10.34695504	091	MI/09	Luvisol	45.30182304	9.045242112
009	CO/03	Cambisol	45.93177839	9.104917716	092	PV/04	Luvisol	45.29855229	8.816618639
010	VA/01	Cambisol	45.94754802	8.750520738	093	PV/05	Luvisol	45.29889918	8.765179102
011	VA/02	Cambisol	45.92859752	8.673682458	094	BS/30	Cambisol	45.27031559	10.26982677
012	BS/02	Cambisol	45.8869941	10.20088213	095	PV/06	Luvisol	45.24342646	8.638867308
013	VA/03	Luvisol	45.91121006	8.725604961	096	CR/06	Luvisol	45.23396134	10.13986002
014	BG/01	Leptosol	45.88831687	9.915143186	097	BS/31	Cambisol	45.2335671	10.31786505
015	BS/03	Cambisol	45.86159655	10.167678	098	MN/05	Calcisol	45.23091833	10.82888773
018	BG/03	Cambisol	45.88837051	9.978195405	099	CR/07	Luvisol	45.21640206	9.96148618
019	LC/03	Cambisol	45.86481046	9.429821157	100	MN/06	Calcisol	45.21506754	10.52074955
020	CO/05	Cambisol	45.87164119	9.297032027	101	MN/07	Calcisol	45.21350707	10.697283
021	BG/04	Cambisol	45.78955251	9.662255391	102	MN/08	Calcisol	45.21274863	10.87686421
023	CO/06	Luvisol	45.76909556	8.908686105	103	PV/07	Cambisol	45.21067256	8.919962749
024	BG/06	Cambisol	45.75398332	9.807524749	104	CR/08	Luvisol	45.19787036	10.1651884
025	BS/04	Cambisol	45.82757511	10.50124425	105	MN/09	Cambisol	45.19726113	10.39388771
026	BS/05	Leptosol	45.81444258	10.53848941	106	PV/08	Cambisol	45.19616994	9.428335612
027	LC/04	Cambisol	45.75770864	9.342897555	107	MN/10	Calcisol	45.19555618	10.57293723
028	CO/07	Luvisol	45.75665518	9.121754807	108	PV/09	Cambisol	45.21059558	9.097954766
029	BG/07	Cambisol	45.7384464	9.781875327	109	MN/11	Cambisol	45.16039889	10.57139679
030	BG/08	Luvisol	45.73024774	9.494976652	110	MN/12	Cambisol	45.14222602	10.59659058
032	VA/04	Luvisol	45.78547207	8.845647198	111	FR/01	Cambisol	45.13830507	11.05209774
033	VA/05	Luvisol	45.78498478	8.600175881	112	Oct-01	Cambisol	45.17400257	8.844075278
034	VA/06	Luvisol	45.69463438	8.67992667	113	CR/09	Cambisol	45.12587744	10.0634578
035	BG/09	Cambisol	45.67933503	9.888180363	114	CR/10	Cambisol	45.12590471	10.1649175
037	BS/08	Cambisol	45.68835025	10.64254719	115	PV/11	Luvisol	45.12479678	9.480112831
038	CO/08	Luvisol	45.67936684	9.009810172	116	CR/11	Cambisol	45.10780367	10.20297686
039	BG/10	Luvisol	45.66630435	9.75653026	117	CR/12	Cambisol	45.10841841	10.26682892
040	LC/05	Cambisol	45.66570943	9.449835999	118	CR/13	Cambisol	45.10739205	10.34247877
041	VA/07	Luvisol	45.69651745	8.859481564	119	MN/13	Cambisol	45.10682221	10.49553781
042	BS/09	Cambisol	45.64263229	10.36816597	120	PV/12	Cambisol	45.10587944	9.353069773
043	MB/01	Luvisol	45.64515579	9.19188768	121	MN/14	Cambisol	45.10537978	10.7230565
044	BS/10	Luvisol	45.63263517	9.953336697	122	MN/15	Cambisol	45.10401112	10.90062506

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

045	BS/11	Luvisol	45.62960731	9.91300165	123	MN/16	Cambisol	45.17610435	10.90180085
046	BS/12	Luvisol	45.68755657	10.11743276	124	MN/17	Cambisol	45.10273691	11.02753669
047	BS/13	Cambisol	45.73775512	10.44480947	125	MN/18	Cambisol	45.10147275	11.17967314
048	MB/02	Luvisol	45.6458764	9.243555345	126	CR/14	Cambisol	45.08968176	10.19021901
049	VA/08	Luvisol	45.64348358	8.962439744	127	MN/19	Cambisol	45.08994593	10.41775758
050	VA/09	Luvisol	45.72065103	8.74614838	128	MN/20	Cambisol	45.0883899	10.46893011
051	BS/14	Calcisol	45.59355685	10.44791193	129	MN/21	Cambisol	45.08785444	10.64673011
052	BG/11	Luvisol	45.55751725	9.629119411	130	MN/22	Cambisol	45.08717437	10.74817744
053	BG/12	Luvisol	45.56002142	9.527396641	131	MN/23	Cambisol	45.16039889	10.57139679
054	MI/01	Regosol	45.57258834	9.091712611	132	CR/15	Cambisol	45.05361267	10.19010549
055	BG/13	Luvisol	45.54006245	9.604434278	133	MN/24	Fluvisol	45.03619386	10.57063364
056	MI/02	Luvisol	45.55703981	9.450082802	134	CR/16	Cambisol	45.01701076	10.31800218
057	BS/15	Luvisol	45.52291324	9.936935218	135	MN/25	Cambisol	45.01657283	10.49393507
058	BS/16	Luvisol	45.52189706	10.11426349	136	MN/26	Fluvisol	45.01000942	11.27945893
059	BS/17	Luvisol	45.51312313	10.35017262	137	MN/27	Cambisol	45.01567916	10.5461875
060	mi/03	Luvisol	45.52112849	9.475994387	138	PV/13	Leptosol	44.99705152	9.253034347
061	MI/04	Luvisol	45.55676188	9.398919904	139	MN/28	Cambisol	45.03392686	10.62076917
062	MI/05	Luvisol	45.51544781	8.785917574	140	MN/29	Fluvisol	44.99160776	11.30375853
063	BS/18	Luvisol	45.46878459	10.14036245	141	CR/17	Fluvisol	44.98103852	10.36704993
064	CR/01	Luvisol	45.46798987	9.732202228	142	MN/30	Cambisol	44.97974176	10.46998308
065	BS/19	Luvisol	45.46770662	10.37028482	143	MN/31	Cambisol	45.0143363	10.82326048
066	BS/20	Luvisol	45.45033542	9.936001256	144	MN/32	Cambisol	44.97968793	10.64548193
067	BS/21	Luvisol	45.43224841	10.11485013	145	PV/14	Cambisol	44.97944801	9.329057061
068	BG/14	Cambisol	45.43222913	9.808126392	146	MN/33	Cambisol	44.97630394	10.9246698
069	CR/02	Cambisol	45.43103749	9.578915672	147	MN/34	Cambisol	44.97194207	11.14991545
070	BS/22	calcisol	45.43022581	10.44758978	148	MN/35	Fluvisol	44.9739045	11.27801476
071	MI/06	Luvisol	45.42592809	8.83893477	149	MN/36	Fluvisol	44.97325686	11.32884382
072	BS/23	Luvisol	45.41572029	10.24649819	150	MN/37	Cambisol	44.9623687	10.51876141
073	CR/03	Luvisol	45.41392022	9.732078263	151	PV/15	Regosol	44.92424893	9.153955166
074	BS/24	calcisol	45.41304548	10.41792262	152	PV/16	Regosol	44.87052099	9.202348053
075	MN/01	calcisol	45.41312491	10.47211231	153	FR/02	Regosol	44.85325534	9.356648287
076	MI/07	Luvisol	45.40818416	8.864824248	154	PV/17	Cambisol	44.83431861	9.204979348
077	MI/08	Luvisol	45.37267848	8.916541822	155	PV/18	Cambisol	44.72273649	9.284312714
078	BS/25	Luvisol	45.34210241	10.14013919	157	LO/01	Luvisol	45.29570509	9.452678593
079	BS/26	calcisol	45.34285441	10.26694183	158	LO/02	Luvisol	45.29639285	9.605411096
080	MN/02	Calcisol	45.33942903	10.67474924	159	LO/03	Luvisol	45.27725853	9.376506427
081	PV/01	Luvisol	45.3320221	8.535176453	160	LO/04	Cambisol	45.18824416	9.606185704
082	BS/27	Luvisol	45.3241085	10.11461531	161	LO/05	Cambisol	45.14403208	9.798701826
083	BS/28	Calcisol	45.32361237	10.3438509	162	LO/06	Cambisol	45.1076863	9.809749728

Tabella 5. Risultati analitici complessivi dei campioni della prima fase del progetto Soil Mapping

CAMPIONI	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014	015
pH	7,00	5,96	6,81	6,28	7,52	8,27	6,31	7,72	6,74	6,10	8,15	8,87	7,23	7,76	6,74
argilla %	2,14	1,69	0,72	0,32	1,50	1,30	2,54	1,04	0,53	2,46	0,19	1,30	28,14	3,45	1,88
limo%	28,54	36,01	22,68	25,81	32,11	24,57	30,55	19,24	21,21	28,26	23,08	48,88	3,51	47,52	26,33
sabbia%	69,32	62,30	76,60	73,87	66,40	74,13	66,91	79,72	78,25	69,28	76,73	49,82	68,35	49,04	71,79
CSC meq/100 g	18,70	9,35	15,61	22,71	10,77	27,00	18,00	12,38	19,12	16,33	41,09	11,09	14,77	16,88	12,92
N %	0,25	0,16	0,26	0,36	0,20	0,20	0,27	0,18	0,12	0,26	0,68	0,20	0,25	0,29	0,14
C %	2,71	1,69	2,34	3,25	1,95	1,72	2,33	2,74	3,62	2,44	7,76	2,61	2,25	3,44	1,32
Calcare %	<0,20	<0,20	0,94	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	6,98	0,51	<0,20	9,13	4,74	<0,20	2,38	<0,20
C inorg %	<0,02	<0,02	0,11	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,84	0,06	<0,02	1,10	0,57	<0,02	0,41	<0,02
C org %	2,71	1,69	2,22	3,25	1,95	1,72	2,33	1,90	3,56	2,44	6,66	2,04	2,25	3,04	1,32
C/N	10,76	10,45	8,54	9,11	9,92	8,55	8,66	10,60	30,90	9,30	9,83	10,37	9,12	10,35	9,50
SO %	4,68	2,91	3,83	5,60	3,37	2,97	4,01	3,27	6,13	4,21	11,48	3,52	3,89	5,23	2,28
Na %	0,81	1,53	1,18	0,91	0,96	0,50	0,78	1,08	1,14	0,88	0,56	0,84	0,95	0,58	0,67
Mg %	2,21	2,23	1,97	1,65	1,51	2,52	1,68	1,42	1,12	0,95	1,94	1,49	0,95	1,73	1,08
Al %	6,71	6,53	6,51	7,74	8,65	6,37	9,01	5,75	5,57	6,83	4,27	7,67	5,12	6,61	8,63
Si %	21,20	23,60	22,50	21,90	22,10	22,70	21,40	21,90	24,90	23,10	20,30	22,80	26,20	23,10	23,30
P %	0,22	0,13	0,19	0,17	0,13	0,16	0,12	0,22	0,31	0,22	0,18	0,13	0,19	0,14	0,26
K %	2,39	1,48	1,88	2,34	3,33	3,02	2,70	1,75	1,30	2,20	1,57	2,97	1,87	3,26	3,75
Ca %	2,49	2,67	2,81	1,49	0,97	3,01	1,03	5,96	1,53	0,91	5,17	3,91	1,36	2,42	0,43
Ti %	0,67	0,54	0,42	0,48	0,54	0,39	0,56	0,32	0,39	0,37	0,30	0,43	0,28	0,34	0,41
Fe %	5,72	4,82	4,07	4,97	4,73	3,53	5,83	2,89	2,49	3,09	2,46	3,96	2,18	3,73	3,75
Be mg kg⁻¹	0,82	0,62	0,36	0,73	0,55	1,17	1,09	0,23	0,62	1,16	0,78	0,57	0,68	1,12	0,69
V mg kg⁻¹	88	58	60	64	60	43	64	59	22	41	36	37	29	24	14,7
Co mg kg⁻¹	24	18,6	12,7	19,1	15,9	9,8	21	9,1	7,3	8,1	5,2	13,8	6,0	12,5	11,3
As mg kg⁻¹	4,7	3,5	6,5	38	14,7	18,4	31	7,7	14,1	9,0	9,1	31	4,4	66	45
Se mg kg⁻¹	0,84	0,52	0,49	1,19	1,20	1,04	2,19	0,53	0,71	1,14	0,97	0,89	1,00	1,20	1,11
Mo mg kg⁻¹	1,18	1,03	0,55	1,59	0,69	1,17	2,8	0,34	0,24	1,00	2,5	0,98	0,47	1,95	1,15
Cd mg kg⁻¹	0,28	0,15	0,18	0,30	0,20	0,53	0,30	0,36	0,30	0,35	0,69	0,23	0,25	0,39	0,13
Sb mg kg⁻¹	0,28	0,27	0,23	1,29	0,35	1,50	4,7	0,28	0,40	7,0	0,95	0,93	0,31	4,6	1,44
Tl mg kg⁻¹	0,40	0,27	0,29	0,40	0,51	0,44	0,51	0,26	0,30	0,56	0,35	0,22	0,30	0,44	0,16
Pb mg kg⁻¹	20	18,5	20	113	31	95	67	32	36	128	47	29	23	45	62
Cr mg kg⁻¹	81	60	30	62	53	30	49	12,1	37	25	26	26	24	14,7	16,1
Cu mg kg⁻¹	164	35	53	62	44	31	99	222	26	21	21	38	24	36	44
Mn mg kg⁻¹	827	439	449	730	213	899	555	523	470	662	519	920	308	1047	1008
Ni mg kg⁻¹	66	46	26	49	37	21	52	9,4	49	20	18,7	28	21	22	24
Zn mg kg⁻¹	175	91	89	167	98	154	150	132	90	135	101	128	86	121	129
Hg mg kg⁻¹	0,07	0,02	0,07	0,78	0,05	0,11	0,05	0,05	0,07	0,06	0,09	0,09	0,06	0,23	0,06
Sn mg kg⁻¹	4,1	0,18	1,25	7,5	2,0	2,9	1,47	0,31	2,3	1,55	1,53	1,09	1,52	1,06	2,3

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

CAMPIONI	018	019	020	021	023	024	025	026	027	028	029	030	032	033	034
pH	8,05	8,16	6,79	6,64	5,88	6,98	8,32	7,86	6,58	6,05	6,71	6,68	5,85	6,01	5,95
argilla %	2,73	7,15	3,45	4,16	5,14	13,37	13,20	1,50	5,92	0,46	33,93	14,83	6,58	0,27	0,58
limo%	55,05	29,44	16,96	57,27	39,26	60,12	30,68	43,03	32,85	20,93	37,05	50,07	33,32	17,56	26,78
sabbia%	42,22	63,41	79,59	38,58	55,61	26,52	56,13	55,48	61,23	78,61	29,02	35,10	60,10	82,18	72,63
CSC meq/100 g	17,07	20,02	42,86	16,05	19,47	17,41	9,52	17,80	9,00	20,00	9,99	16,37	15,67	33,19	23,39
N %	0,20	0,41	1,06	0,21	0,20	0,21	0,06	0,26	0,14	0,29	0,24	0,16	0,21	0,44	0,32
C %	9,19	5,39	10,26	1,83	2,14	2,10	1,89	3,77	1,36	2,97	2,11	1,26	2,25	5,55	3,80
Calcare %	43,41	11,37	<0,20	<0,20	0,57	<0,20	7,70	3,97	0,57	<0,20	0,12	<0,20	<0,20	<0,20	0,50
C inorg %	5,21	1,36	<0,02	<0,02	0,07	<0,02	0,92	0,48	0,07	<0,02	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	0,06
C org %	3,98	4,03	10,26	1,83	2,10	2,10	0,97	3,29	1,29	2,97	2,10	1,26	2,25	5,55	3,74
C/N	19,97	9,72	9,68	8,61	10,48	9,77	17,25	12,81	9,19	10,27	8,80	7,85	10,97	12,58	11,80
SO %	6,87	6,94	17,70	3,16	3,63	3,62	1,66	5,68	2,22	5,11	3,62	2,17	3,89	9,57	6,46
Na %	0,22	0,19	0,25	0,42	0,37	0,34	0,47	0,82	0,99	0,82	0,12	0,50	0,57	0,88	0,84
Mg %	4,72	1,98	1,32	0,88	0,98	0,88	2,45	2,09	1,13	1,06	0,89	0,99	0,72	0,69	0,81
Al %	4,14	6,37	5,73	7,18	9,14	6,67	8,19	7,93	6,08	6,01	7,83	7,76	6,69	5,73	7,44
Si %	17,70	23,20	24,20	28,20	24,40	29,70	24,30	21,90	26,10	27,00	29,80	26,80	25,90	23,40	23,30
P %	0,16	0,12	0,21	0,10	0,12	0,08	0,05	0,24	0,18	0,21	0,08	0,09	0,17	0,19	0,24
K %	1,60	4,51	1,63	1,83	1,73	1,71	2,75	3,25	1,87	1,44	1,71	2,45	1,77	1,52	1,72
Ca %	14,30	4,14	1,95	0,52	0,44	0,68	3,17	3,59	1,06	0,92	0,67	0,40	0,54	1,24	0,89
Ti %	0,24	0,38	0,40	0,62	0,58	0,64	0,41	0,33	0,41	0,39	0,44	0,52	0,37	0,32	0,42
Fe %	1,86	3,48	3,34	3,47	4,48	3,58	3,68	3,58	2,87	2,99	4,82	4,67	2,86	2,18	3,09
Be mg kg⁻¹	0,73	1,59	1,28	0,56	1,17	1,48	0,79	0,71	0,62	0,52	1,92	0,95	0,85	0,83	0,88
V mg kg⁻¹	52	43	50	40	59	39	51	23	27	26	52	33	33	24	33
Co mg kg⁻¹	7,4	8,5	9,9	14,5	12,3	32	9,7	11,6	8,6	8,8	35	21	7,4	6,5	8,5
As mg kg⁻¹	14,6	29	13,3	14,1	18,8	11,8	4,4	25	9,1	19,0	7,8	14,8	12,1	45	15,4
Se mg kg⁻¹	0,66	1,34	3,91	1,17	1,24	1,88	1,17	1,10	0,91	0,77	3,34	1,44	1,08	1,28	0,98
Mo mg kg⁻¹	6,9	3,1	1,13	1,36	0,98	1,79	0,54	1,39	0,26	0,68	0,91	0,33	0,53	1,88	0,59
Cd mg kg⁻¹	0,73	5,4	0,80	0,30	0,07	0,66	0,06	0,17	0,25	0,22	0,78	0,27	0,25	0,43	0,19
Sb mg kg⁻¹	1,58	3,4	1,19	1,39	0,83	1,42	0,42	1,50	0,54	0,64	1,08	1,37	1,20	0,42	0,73
Tl mg kg⁻¹	0,47	1,30	0,40	0,41	0,37	0,36	0,21	0,21	0,27	0,24	0,48	0,20	0,38	0,25	0,25
Pb mg kg⁻¹	34	153	81	44	38	87	19,2	29	28	47	57	38	66	42	63
Cr mg kg⁻¹	15,3	16,3	54	35	50	47	16,4	17,0	39	58	42	38	35	26	30
Cu mg kg⁻¹	26	31	47	20	26	25	11,2	32	24	25	103	60	28	29	27
Mn mg kg⁻¹	675	1583	330	1134	726	1714	745	772	617	452	4147	1913	974	165	469
Ni mg kg⁻¹	19,1	15,4	48	22	33	24	10,9	20	36	56	96	60	23	25	25
Zn mg kg⁻¹	87	1041	128	88	93	99	58	119	83	83	145	118	87	84	111
Hg mg kg⁻¹	0,15	0,27	0,17	0,17	0,07	0,18	0,02	0,08	0,06	0,29	0,19	0,15	0,09	0,11	0,11
Sn mg kg⁻¹	1,02	2,6	3,7	1,07	1,97	1,51	1,30	1,61	0,94	2,6	1,18	3,1	2,4	1,21	2,4

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

CAMPIONI	035	037	038	039	040	041	042	043	044	045	046	047	048	049	050
pH	7,35	7,02	6,17	7,08	6,43	6,49	7,91	5,55	5,86	6,72	7,65	8,80	5,99	5,77	5,92
argilla %	19,35	4,46	13,13	6,12	17,95	4,81	26,19	12,48	18,55	7,02	3,39	21,35	10,21	4,79	2,28
limo%	52,93	29,53	57,26	37,31	61,38	45,30	35,88	44,46	52,80	33,41	37,44	51,80	65,06	35,64	32,82
sabbia%	27,71	66,02	29,60	56,58	20,67	49,89	37,93	43,06	28,65	59,57	59,17	26,85	24,73	59,57	64,90
CSC meq/100 g	11,10	21,44	21,64	13,28	9,31	21,19	9,59	14,75	14,73	9,50	21,00	20,00	17,37	14,89	24,25
N %	0,39	0,28	0,21	0,20	0,12	0,24	0,15	0,21	0,14	0,15	0,35	0,31	0,21	0,16	0,37
C %	4,51	2,68	2,26	1,65	1,20	2,87	4,05	1,82	1,26	1,41	3,11	5,93	1,70	1,53	3,86
Calcare %	0,42	<0,20	<0,20	<0,20	0,38	<0,20	14,26	<0,20	<0,20	0,28	0,46	21,04	<0,20	<0,20	<0,20
C inorg %	0,41	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	1,71	<0,02	<0,02	0,03	0,06	2,52	<0,02	<0,02	<0,02
C org %	4,10	2,68	2,26	1,65	1,16	2,87	2,34	1,82	1,26	1,38	3,05	3,41	1,70	1,53	3,86
C/N	10,65	9,53	10,70	8,11	9,37	11,90	16,01	8,64	8,75	8,99	8,62	10,85	7,90	9,81	10,55
SO %	7,07	4,62	3,90	2,85	1,99	4,95	4,03	3,14	2,17	2,38	5,26	5,88	2,93	2,63	6,65
Na %	0,28	0,21	0,39	0,56	0,54	0,52	0,31	0,49	0,34	0,49	0,87	0,25	0,54	0,47	0,70
Mg %	0,74	0,54	1,02	0,95	0,85	0,90	2,09	0,86	0,55	0,66	1,31	0,33	1,06	0,74	0,84
Al %	6,71	3,34	8,45	7,31	8,03	8,02	7,35	5,50	6,11	5,47	6,84	7,11	7,98	7,17	7,44
Si %	27,80	30,90	24,40	26,40	26,90	24,80	22,70	29,20	30,50	30,10	24,10	22,50	26,20	25,30	24,40
P %	0,10	0,12	0,14	0,16	0,07	0,16	0,10	0,10	0,10	0,10	0,16	0,12	0,16	0,18	0,37
K %	1,54	0,92	1,65	2,18	0,16	1,91	2,24	1,22	1,53	1,41	2,05	1,50	1,65	1,71	1,69
Ca %	0,77	0,82	0,62	0,47	0,52	0,66	5,83	0,70	0,39	0,61	2,07	6,29	0,73	0,44	0,86
Ti %	0,54	0,24	0,55	0,40	0,58	0,50	0,44	0,38	0,51	0,39	0,39	0,43	0,53	0,40	0,41
Fe %	3,91	1,96	4,49	3,86	3,76	3,75	3,90	3,06	3,11	2,92	3,57	3,63	3,71	3,28	3,25
Be mg kg⁻¹	1,70	0,63	1,38	1,13	0,88	1,31	0,94	1,18	1,24	1,01	0,80	1,19	1,06	1,34	1,09
V mg kg⁻¹	44	20	62	43	50	47	77	41	38	33	38	77	43	45	41
Co mg kg⁻¹	33	16,3	15,4	10,9	11,8	12,3	13,0	9,6	23	11,5	9,3	12,9	10,7	8,1	8,5
As mg kg⁻¹	12,9	6,5	22	34	18,4	23	22	11,5	16,0	14,2	12,4	20	14,8	16,0	12,6
Se mg kg⁻¹	2,32	1,11	1,64	1,46	1,27	1,39	1,06	1,14	1,25	1,17	0,84	1,31	1,04	1,45	1,17
Mo mg kg⁻¹	0,67	0,71	1,02	2,7	0,67	1,02	11,3	1,11	1,02	0,71	0,96	4,6	0,71	0,75	0,96
Cd mg kg⁻¹	0,73	0,41	0,19	1,24	0,03	0,17	1,01	0,27	0,20	0,34	0,45	0,42	0,10	0,27	0,27
Sb mg kg⁻¹	0,98	0,51	0,76	3,3	1,03	1,36	1,88	1,44	0,99	1,03	0,55	1,77	1,14	1,25	0,74
Tl mg kg⁻¹	0,35	0,24	0,43	0,57	0,32	0,42	1,63	0,32	0,30	0,21	0,31	0,49	0,34	0,38	0,38
Pb mg kg⁻¹	58	61	45	80	55	59	92	78	49	55	30	44	79	57	49
Cr mg kg⁻¹	41	24	70	34	58	37	31	55	28	23	26	32	52	34	31
Cu mg kg⁻¹	67	140	30	51	26	26	51	45	44	47	88	28	41	20	37
Mn mg kg⁻¹	3682	1747	678	1356	466	1068	1367	1094	2168	1396	701	718	862	1054	1168
Ni mg kg⁻¹	60	38	43	27	31	27	25	46	27	23	23	29	38	25	25
Zn mg kg⁻¹	114	102	95	247	80	92	314	89	69	71	106	127	99	94	112
Hg mg kg⁻¹	0,10	0,09	0,06	0,19	0,12	0,07	0,10	0,15	0,08	0,05	0,06	0,08	0,17	0,08	0,09
Sn mg kg⁻¹	1,22	1,07	2,69	2,6	3,2	1,81	1,18	4,2	1,67	0,38	0,63	0,56	3,7	1,76	1,57

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

CAMPIONI	051	052	053	054	055	056	057	058	059	060	061	062	063	064	065
pH	6,67	7,29	8,31	6,56	8,08	7,02	6,45	7,20	8,18	7,10	6,59	5,89	7,23	8,02	8,03
argilla %	4,68	12,22	4,59	13,97	11,31	6,57	11,37	1,95	17,42	13,91	5,78	7,45	17,81	3,51	13,37
limo%	54,47	62,98	41,56	36,34	47,12	67,47	37,31	30,16	58,25	36,92	40,04	32,92	58,56	38,48	41,96
sabbia%	40,85	24,80	53,85	49,69	41,56	25,97	51,31	67,89	24,32	49,17	54,18	59,63	23,62	58,01	44,67
CSC meq/100 g	11,11	14,55	9,91	13,02	13,24	17,72	14,00	14,00	16,49	13,36	17,25	12,44	15,55	17,66	17,16
N %	0,14	0,20	0,15	0,14	0,17	0,21	0,17	0,21	0,14	0,16	0,25	0,17	0,09	0,28	0,23
C %	1,30	1,72	6,66	1,43	1,49	1,84	1,51	1,86	2,30	1,42	2,30	1,51	0,83	4,95	3,92
Calcare %	0,43	0,92	40,03	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	2,77	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	7,97	8,08
C inorg %	0,05	0,11	4,80	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,33	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,96	0,97
C org %	1,25	1,61	1,85	1,43	1,49	1,84	1,51	1,86	1,97	1,42	2,30	1,51	0,83	3,99	2,95
C/N	8,70	7,92	12,51	10,41	8,68	8,59	8,93	8,81	14,11	8,74	9,31	8,96	8,98	14,22	13,11
SO %	2,15	2,78	3,19	2,47	2,57	3,17	2,60	3,20	3,40	2,45	3,97	2,61	1,42	6,88	5,09
Na %	0,60	0,46	0,40	0,45	0,55	0,63	0,51	0,64	0,50	0,71	0,60	0,64	0,76	0,56	0,47
Mg %	0,76	0,62	2,56	1,00	0,90	0,83	0,67	0,69	1,11	1,04	0,89	0,76	0,75	1,96	1,86
Al %	6,80	5,88	4,65	8,44	6,78	7,63	6,09	5,95	6,78	6,33	6,91	7,53	7,97	6,11	7,42
Si %	28,80	31,20	20,40	25,40	26,60	27,90	27,80	26,60	27,40	26,30	26,30	25,50	28,50	23,80	23,60
P %	0,09	0,11	0,11	0,09	0,09	0,08	0,16	0,16	0,11	0,17	0,12	0,18	0,06	0,15	0,17
K %	1,61	1,53	1,72	1,54	2,31	1,65	1,56	1,55	1,47	1,62	1,42	1,96	1,47	2,18	1,78
Ca %	0,59	0,56	14,10	0,80	0,58	0,63	0,64	0,89	2,21	0,90	0,76	0,57	0,56	6,74	4,07
Ti %	0,53	0,52	0,24	0,50	0,42	0,57	0,39	0,38	0,55	0,38	0,46	0,40	0,59	0,29	0,39
Fe %	3,01	2,93	2,05	3,83	3,38	3,51	3,16	2,99	3,18	3,45	3,46	3,14	3,64	2,70	3,55
Be mg kg⁻¹	0,78	0,88	0,61	1,43	1,10	1,26	1,23	0,75	1,39	1,36	1,08	1,46	1,39	0,72	1,39
V mg kg⁻¹	37	34	22	44	35	44	39	29	47	49	40	40	43	31	73
Co mg kg⁻¹	10,6	16,9	6,9	11,1	11,6	9,9	10,8	7,2	16,3	12,2	10,9	9,2	10,0	8,2	10,9
As mg kg⁻¹	11,9	14,0	13,7	15,2	31	14,3	21	9,5	11,7	22	15,2	29	16,1	24	14,6
Se mg kg⁻¹	1,11	1,24	0,58	1,28	1,03	1,17	1,63	0,83	1,20	1,16	0,92	1,44	1,36	1,04	1,41
Mo mg kg⁻¹	0,93	1,24	1,74	0,80	1,93	0,61	1,20	0,79	1,31	1,32	0,89	1,25	0,65	1,82	2,9
Cd mg kg⁻¹	0,22	0,43	0,83	0,06	0,33	0,22	0,54	0,34	0,53	0,41	0,42	0,22	0,18	0,55	0,60
Sb mg kg⁻¹	0,71	1,31	1,43	1,45	3,8	0,77	1,07	0,73	0,72	0,96	1,17	1,50	0,58	2,2	1,12
Tl mg kg⁻¹	0,25	0,24	0,22	0,35	0,29	0,27	0,28	0,22	0,25	0,36	0,33	0,32	0,22	0,41	0,40
Pb mg kg⁻¹	41	42	53	61	57	39	55	44	37	55	71	47	36	33	46
Cr mg kg⁻¹	29	96	16,4	50	25	48	33	26	34	50	38	29	36	15,8	31
Cu mg kg⁻¹	109	50	22	49	33	18,7	59	22	63	30	32	18,2	19,7	28	30
Mn mg kg⁻¹	796	1624	466	593	1075	433	1047	733	1175	1423	1141	646	413	673	767
Ni mg kg⁻¹	20	36	18	37	26	25	25	18,4	22	48	36	20	19,4	19,6	24
Zn mg kg⁻¹	78	157	253	90	113	91	183	90	97	105	126	90	68	113	130
Hg mg kg⁻¹	0,05	0,12	0,20	0,21	0,08	0,09	0,13	0,09	0,12	0,09	0,15	0,10	0,08	0,10	0,07
Sn mg kg⁻¹	0,93	2,1	1,49	2,5	1,23	4,3	1,56	1,17	1,44	1,34	3,4	1,55	1,02	0,57	0,63

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

CAMPIONI	066	067	068	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080
pH	7,22	7,59	8,36	7,07	8,20	7,27	8,30	8,36	8,13	7,88	7,20	6,33	7,81	7,97	8,18
argilla %	7,41	9,88	22,36	3,12	16,12	2,60	14,50	4,55	14,96	11,97	1,50	0,65	5,85	23,21	10,31
limo%	32,04	41,93	49,99	33,21	46,35	21,32	40,03	32,11	41,76	42,23	31,26	28,15	35,36	32,37	33,98
sabbia%	60,55	48,20	27,65	63,67	37,53	76,08	45,47	63,34	43,28	45,80	67,24	71,20	58,79	44,43	55,71
CSC meq/100 g	10,59	21,30	13,76	16,76	17,37	20,65	17,87	17,24	15,07	18,37	16,64	25,00	7,00	10,00	27,05
N %	0,11	0,20	0,14	0,29	0,24	0,30	0,22	0,21	0,25	0,22	0,38	0,31	0,13	0,17	0,17
C %	0,96	1,72	1,64	2,49	2,70	2,93	4,68	3,60	3,19	2,35	3,22	2,69	1,05	4,71	1,96
Calcare %	<0,20	<0,20	3,40	0,85	1,84	0,50	9,90	9,28	4,89	0,56	<0,20	<0,20	<0,20	16,08	1,42
C inorg %	<0,02	<0,02	0,41	0,10	0,22	0,06	1,19	1,11	0,59	0,07	<0,02	<0,02	<0,02	1,93	0,17
C org %	0,96	1,72	1,23	2,39	2,48	2,87	3,50	2,48	2,61	2,28	3,22	2,69	1,05	2,78	1,79
C/N	8,38	8,42	8,56	8,12	10,51	9,42	16,14	11,57	10,24	10,35	8,50	8,62	8,34	15,92	10,63
SO %	1,66	2,97	2,12	4,11	4,27	4,94	6,03	4,28	4,49	3,93	5,54	4,63	1,81	4,80	3,08
Na %	0,81	0,64	0,63	0,94	0,49	0,89	0,49	0,65	0,43	0,57	1,02	0,80	0,86	0,48	0,62
Mg %	0,65	1,05	1,14	1,06	1,22	0,76	2,17	1,33	1,35	0,99	0,79	0,73	0,85	2,19	0,86
Al %	5,80	7,74	8,38	7,37	7,31	6,61	6,21	6,70	7,42	7,51	6,59	6,33	6,85	5,89	6,65
Si %	31,00	27,70	25,90	28,30	25,30	25,10	22,80	24,90	24,60	25,70	25,10	24,70	29,90	22,20	25,40
P %	0,11	0,14	0,05	0,11	0,15	0,12	0,23	0,11	0,13	0,20	0,24	0,31	0,14	0,25	0,14
K %	1,62	2,26	2,61	1,76	1,75	1,72	1,79	2,41	1,80	1,82	1,79	1,96	1,63	1,82	1,72
Ca %	0,64	0,96	1,42	0,88	2,07	1,25	5,11	4,64	2,57	1,52	1,42	0,99	0,99	7,44	2,04
Ti %	0,35	0,41	0,41	0,39	0,44	0,36	0,35	0,33	0,43	0,43	0,34	0,37	0,41	0,33	0,39
Fe %	2,22	3,59	3,78	3,12	3,95	2,77	2,98	3,01	4,02	3,59	2,91	2,92	2,64	0,97	3,01
Be mg kg⁻¹	0,44	1,13	1,82	1,05	1,65	0,90	1,38	0,83	1,56	1,16	0,81	0,97	0,86	0,81	1,10
V mg kg⁻¹	24	39	36	31	61	28	66	30	67	51	38	27	37	51	39
Co mg kg⁻¹	6,6	10,0	11,0	8,9	12,5	7,7	9,1	9,5	12,5	9,6	7,0	6,2	9,0	8,6	7,0
As mg kg⁻¹	8,0	10,5	30	16,8	16,6	12,6	13,7	23	17,5	11,8	15,0	13,8	11,6	14,7	9,6
Se mg kg⁻¹	0,85	1,25	1,37	1,09	1,47	0,81	1,15	1,10	1,45	1,22	1,38	0,67	0,87	0,78	1,36
Mo mg kg⁻¹	0,30	0,53	0,97	1,02	1,61	0,38	3,1	0,95	2,5	1,17	0,32	0,60	0,50	1,63	1,31
Cd mg kg⁻¹	0,27	0,40	0,23	0,34	0,61	0,66	0,75	0,42	0,87	0,39	0,30	0,22	0,26	0,32	0,32
Sb mg kg⁻¹	0,49	0,61	1,41	0,75	0,94	0,93	1,01	1,62	1,04	0,83	0,79	1,00	0,55	0,55	0,99
Tl mg kg⁻¹	0,24	0,25	0,27	0,31	0,30	0,16	0,61	0,33	0,37	0,32	0,25	0,21	0,18	0,29	0,31
Pb mg kg⁻¹	18,8	33	31	28	47	30	45	25	50	36	29	39	28	25	24
Cr mg kg⁻¹	17,7	31	24	37	39	31	28	21	40	35	46	32	25	23	32
Cu mg kg⁻¹	16,3	28	18,4	18,6	29	41	33	32	31	101	26	19,5	25	38	46
Mn mg kg⁻¹	577	788	567	827	926	322	640	834	951	833	448	507	724	561	547
Ni mg kg⁻¹	15,8	26	21	33	29	20	22	23	30	26	22	21	18,8	20	21
Zn mg kg⁻¹	59	103	90	105	103	132	170	108	130	125	102	118	88	112	87
Hg mg kg⁻¹	0,05	0,06	0,13	0,07	0,11	0,63	0,08	0,09	0,08	0,06	0,10	0,10	0,04	0,07	0,03
Sn mg kg⁻¹	1,25	0,63	0,66	0,71	1,05	2,3	3,0	1,07	1,30	0,65	1,39	0,54	0,65	1,15	1,13

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

CAMPIONI	081	082	083	084	085	086	087	088	089	090	091	092	093	094	095
pH	7,14	7,22	8,21	6,35	6,31	7,52	6,35	8,33	8,46	8,04	7,35	6,55	5,66	7,18	5,94
argilla %	2,28	10,79	29,12	3,19	5,52	2,46	3,99	26,47	3,90	27,56	6,24	3,42	2,34	12,35	1,37
limo%	17,42	52,97	48,88	24,44	20,55	24,80	28,66	46,42	44,33	51,22	31,13	26,76	22,10	39,45	28,67
sabbia%	80,31	36,24	22,00	72,38	73,93	72,74	67,35	27,12	51,77	21,22	62,62	69,82	75,56	48,20	69,97
CSC meq/100 g	8,88	12,67	45,34	11,66	6,47	11,28	14,00	26,00	19,81	14,74	15,47	11,80	6,45	22,03	7,95
N %	0,08	0,17	0,26	0,05	0,11	0,14	0,09	0,12	0,14	0,28	0,10	0,12	0,08	0,29	0,29
C %	0,83	1,31	3,97	0,62	1,16	1,04	0,80	3,68	3,78	4,95	0,87	1,19	0,76	2,99	2,66
Calcare %	<0,20	<0,20	8,16	0,39	0,95	<0,20	<0,20	17,28	17,15	17,86	0,47	0,94	0,16	3,84	0,93
C inorg %	<0,02	<0,02	0,98	0,05	0,11	<0,02	<0,02	2,07	2,06	2,14	0,06	0,11	0,02	0,46	0,11
C org %	0,83	1,31	2,99	0,58	1,04	1,04	0,80	1,60	1,72	2,80	0,82	1,08	0,74	2,53	2,55
C/N	9,79	7,90	11,73	10,74	9,20	7,33	8,65	13,89	12,46	10,00	8,31	8,65	9,03	8,80	8,64
SO %	1,43	2,26	5,16	0,99	1,80	1,79	1,37	2,76	2,97	4,83	1,41	1,86	1,27	4,35	4,39
Na %	0,95	0,82	0,48	1,16	1,01	0,82	0,78	0,53	0,54	0,44	1,01	1,09	1,21	0,72	1,02
Mg %	1,11	0,84	2,29	0,78	0,99	0,89	0,75	1,76	1,61	1,51	0,69	1,26	0,78	1,29	0,90
Al %	6,65	6,81	7,45	6,43	6,96	6,84	6,23	6,12	5,65	5,63	6,76	6,94	6,48	6,09	6,98
Si %	23,90	27,10	23,80	26,80	24,30	27,20	26,70	24,70	23,90	23,40	28,30	25,60	27,90	24,80	25,10
P %	0,13	0,14	0,11	0,11	0,11	0,14	0,12	0,08	0,08	0,14	0,14	0,19	0,08	0,84	0,16
K %	1,81	1,76	1,75	1,84	1,95	2,04	1,62	1,43	1,59	1,63	1,99	2,04	1,84	1,82	1,77
Ca %	1,03	0,91	3,77	0,91	0,94	0,82	0,77	7,85	8,46	8,66	0,89	1,25	0,77	2,81	1,07
Ti %	0,37	0,47	0,47	0,31	0,40	0,34	0,35	0,34	0,33	0,36	0,35	0,41	0,29	0,39	0,37
Fe %	2,71	0,93	4,17	2,11	2,62	2,94	2,48	2,76	2,49	2,88	2,31	3,21	1,97	2,68	2,65
Be mg kg⁻¹	0,53	1,14	1,31	0,45	0,63	0,87	0,63	1,07	0,68	1,22	0,75	0,44	0,63	0,97	1,04
V mg kg⁻¹	29	33	84	22	30	26	22	48	39	41	25	30	20	37	29
Co mg kg⁻¹	6,9	9,4	13,6	5,0	6,3	7,7	5,1	9,6	8,8	10,8	6,6	9,6	5,3	10,7	6,2
As mg kg⁻¹	5,0	12,9	9,7	6,9	2,8	14,4	8,1	12,3	12,2	11,0	18,1	6,4	5,2	11,8	7,0
Se mg kg⁻¹	0,51	0,88	1,36	0,66	0,59	0,84	0,51	0,91	0,85	1,02	0,84	0,64	0,66	1,10	0,84
Mo mg kg⁻¹	0,21	0,50	1,73	0,07	0,11	0,41	0,41	1,06	0,36	0,27	0,53	0,26	<0,1	2,00	0,16
Cd mg kg⁻¹	0,17	0,20	0,56	0,12	0,15	0,20	0,05	0,40	0,19	0,30	0,24	0,19	0,08	0,38	0,24
Sb mg kg⁻¹	0,25	0,42	0,85	0,21	0,18	0,60	0,39	0,49	0,56	0,38	0,94	0,34	0,22	0,45	0,45
Tl mg kg⁻¹	0,17	0,15	0,40	0,18	0,17	0,21	0,12	0,25	0,20	0,20	0,16	0,17	0,18	0,22	0,29
Pb mg kg⁻¹	22	22	35	12,3	14,9	13,0	18,0	24	22	25	25	23	12,3	24	34
Cr mg kg⁻¹	70	24	30	24	36	27	16,0	32	29	40	21	48	23	24	42
Cu mg kg⁻¹	22	19,2	32	24	18,6	22	14,1	17,1	17,3	22	15,7	27	12,1	214	18,2
Mn mg kg⁻¹	157	482	803	287	139	482	430	611	422	632	497	495	362	897	209
Ni mg kg⁻¹	35	21	24	23	22	25	12,9	26	25	34	15,7	40	18,2	19,5	26
Zn mg kg⁻¹	79	86	144	54	59	87	51	116	65	102	64	93	43	463	94
Hg mg kg⁻¹	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,06	0,10	0,03	0,04	0,09
Sn mg kg⁻¹	0,77	0,65	0,70	1,98	1,11	0,43	0,51	1,37	0,46	0,90	1,30	1,03	1,80	0,66	0,80

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

CAMPIONI	096	097	098	099	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
pH	8,64	7,92	8,49	7,41	8,55	7,82	8,47	6,65	7,80	8,38	5,44	8,35	7,39	8,65	8,16
argilla %	6,50	5,72	28,86	3,32	16,64	0,91	22,23	2,51	7,66	8,12	11,75	20,80	3,06	16,96	40,49
limo%	13,85	45,15	48,24	34,45	39,65	15,80	48,43	16,96	33,92	27,36	70,49	47,39	19,48	40,50	44,79
sabbia%	79,65	49,13	22,90	62,24	43,71	83,30	29,34	80,53	58,42	64,51	17,76	31,81	77,46	42,54	14,72
CSC meq/100 g	9,97	10,00	27,26	11,04	13,98	15,65	17,99	13,49	12,57	7,90	9,11	17,00	10,91	15,32	14,00
N %	0,08	0,13	0,11	0,10	0,14	0,85	0,06	0,12	0,15	0,16	0,09	0,15	0,09	0,10	0,15
C %	1,36	9,36	2,79	0,80	3,60	9,70	0,62	3,79	1,37	7,30	0,82	3,18	0,89	2,37	2,50
Calcare %	5,48	60,53	14,28	<0,20	15,57	9,42	0,68	17,92	<0,20	28,80	0,95	11,79	1,41	9,47	8,87
C inorg %	0,66	7,26	1,71	<0,02	1,87	1,13	0,08	2,15	<0,02	3,46	0,11	1,41	0,17	1,14	1,06
C org %	0,71	2,09	1,08	0,80	1,73	8,57	0,54	1,64	1,37	3,84	0,71	1,76	0,72	1,23	1,44
C/N	9,18	16,62	9,99	8,25	12,07	10,08	8,45	13,19	8,83	23,33	8,33	12,05	8,15	12,65	9,49
SO %	1,22	3,61	1,86	1,39	2,99	14,77	0,93	2,83	2,36	6,62	1,22	3,04	1,25	2,12	2,48
Na %	0,77	0,39	0,49	0,89	0,55	0,56	0,56	1,24	0,87	0,44	1,05	0,64	1,05	0,72	0,41
Mg %	0,80	4,29	1,23	0,73	1,48	1,53	1,49	0,79	0,76	2,14	0,84	1,54	0,90	1,18	1,29
Al %	5,61	2,57	2,59	6,24	5,69	3,71	5,45	5,80	6,29	4,45	6,37	6,11	7,09	5,63	7,47
Si %	26,60	16,40	24,10	28,70	24,60	21,50	24,60	27,40	28,30	20,50	28,50	25,60	25,90	26,30	25,20
P %	0,09	0,11	0,10	0,11	0,09	0,44	0,12	0,14	0,13	0,24	0,07	0,12	0,12	0,08	0,08
K %	1,78	0,82	1,61	1,62	1,43	1,37	1,47	1,73	1,75	1,52	1,41	1,64	1,87	1,45	1,99
Ca %	3,85	23,30	7,59	0,88	8,34	8,35	9,11	0,88	0,92	13,10	1,02	6,32	1,02	4,96	4,45
Ti %	0,27	0,14	0,34	0,38	0,33	0,23	0,33	0,25	0,38	0,23	0,51	0,36	0,33	0,35	0,45
Fe %	2,29	0,92	2,65	2,41	2,38	1,97	2,35	1,74	2,71	1,83	2,95	2,59	2,56	2,25	3,74
Be mg kg⁻¹	0,46	0,39	0,92	0,76	1,07	0,52	0,83	0,45	0,56	0,54	0,77	1,07	0,61	0,69	1,59
V mg kg⁻¹	20	34	41	24	38	19,6	38	17,1	26	33	38	40	28	31	60
Co mg kg⁻¹	5,4	4,1	8,8	6,4	8,1	3,5	8,6	4,1	6,5	5,8	12,7	9,9	6,3	6,0	13,9
As mg kg⁻¹	13,7	8,5	8,7	9,5	10,9	5,4	11,8	4,2	8,4	11,3	10,9	12,0	6,7	9,7	11,6
Se mg kg⁻¹	0,63	0,48	1,25	0,79	0,78	0,68	1,07	0,52	0,74	0,68	1,47	1,08	0,74	0,75	1,35
Mo mg kg⁻¹	0,03	3,7	0,11	0,21	0,82	0,67	0,38	0,14	0,16	1,31	0,12	0,22	0,06	0,17	0,22
Cd mg kg⁻¹	0,15	0,30	0,33	0,18	0,30	0,39	0,22	0,15	0,17	0,31	0,11	0,35	0,15	0,24	0,37
Sb mg kg⁻¹	0,31	0,59	0,36	0,44	0,37	0,43	0,42	0,38	0,36	0,49	0,53	0,42	0,46	0,32	0,57
Tl mg kg⁻¹	0,20	0,33	0,29	0,20	0,17	0,16	0,17	0,17	0,23	0,18	0,23	0,20	0,27	0,15	0,37
Pb mg kg⁻¹	8,8	18,4	18,0	16,5	23	37	22	16,2	12,3	16,5	31	27	17,9	16,1	28
Cr mg kg⁻¹	14,9	8,4	36	20	28	23	29	32	20	15,3	50	29	26	25	44
Cu mg kg⁻¹	12,2	11,2	21	14,8	21	36	21	12,4	26	16,5	14,9	20	12,2	270	36
Mn mg kg⁻¹	347	239	518	462	431	452	549	129	484	373	911	483	213	17,7	718
Ni mg kg⁻¹	15,0	8,9	34	16,7	21	14,1	26	19,4	17,2	15,7	26	24	22	16,8	41
Zn mg kg⁻¹	43	57	82	51	63	152	70	54	64	67	49	72	54	30	105
Hg mg kg⁻¹	0,02	0,02	0,03	0,06	0,03	0,25	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,02	0,04
Sn mg kg⁻¹	0,24	0,26	0,83	0,70	1,20	1,31	0,60	2,4	0,38	0,75	0,61	0,89	1,48	0,68	0,53

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

CAMPIONI	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125
pH	8,56	6,25	6,28	7,65	8,49	6,71	7,85	8,59	8,18	8,31	8,33	8,49	8,80	8,36	6,76
argilla %	24,12	4,80	8,05	11,31	1,20	18,00	22,04	19,95	22,74	2,80	36,38	30,35	13,20	27,75	54,60
limo%	48,78	20,60	62,18	66,75	56,26	56,94	66,13	55,06	45,15	15,66	47,61	61,69	29,71	43,03	40,56
sabbia%	27,10	74,60	29,78	21,93	42,54	25,05	11,82	24,99	32,10	81,54	16,01	7,96	57,10	29,21	4,84
CSC meq/100 g	7,25	22,77	14,00	15,32	13,79	21,97	15,22	15,05	10,60	7,25	17,38	15,05	10,34	8,74	22,77
N %	0,11	0,11	0,14	0,20	0,14	0,15	0,17	0,13	0,13	0,06	0,14	0,13	0,12	0,30	0,36
C %	3,67	1,03	1,09	1,82	2,27	1,45	1,40	1,43	3,36	1,33	2,64	2,98	4,89	3,00	3,93
Calcare %	20,17	<0,20	0,28	1,22	8,78	<0,20	1,96	2,04	15,24	4,96	11,58	18,76	29,32	22,13	<0,20
C inorg %	2,42	<0,020	0,03	0,15	1,05	<0,02	0,23	0,24	1,83	0,60	1,39	2,25	3,52	2,66	<0,02
C org %	1,25	1,03	1,06	1,67	1,21	1,45	1,16	1,19	1,53	0,74	1,25	0,72	1,37	0,34	3,93
C/N	11,88	9,75	7,64	8,24	8,44	9,71	6,97	8,88	11,94	12,07	9,25	5,75	11,76	1,16	10,93
SO %	2,16	1,78	1,82	2,89	2,09	2,50	2,01	2,05	2,64	1,27	2,16	1,25	2,37	0,59	6,77
Na %	0,52	1,14	0,92	0,85	0,70	0,80	0,82	0,84	0,57	1,12	0,42	0,51	0,57	0,31	0,42
Mg %	1,26	0,77	0,92	1,07	2,74	1,07	1,25	1,28	2,51	2,07	1,22	2,15	1,39	1,18	1,96
Al %	5,51	6,17	7,17	7,72	7,09	8,14	8,13	7,71	7,01	5,06	6,89	6,49	4,92	5,07	8,49
Si %	23,90	26,70	27,60	26,10	23,70	27,60	25,90	26,60	23,40	26,80	24,80	23,50	23,60	20,90	24,30
P %	0,10	0,12	0,11	0,12	0,07	0,23	0,11	0,11	0,11	0,06	0,07	0,06	0,16	0,07	0,09
K %	1,74	1,64	2,02	2,53	2,23	2,23	2,45	2,06	2,11	1,81	1,94	2,02	1,34	1,75	2,36
Ca %	9,66	0,99	0,76	1,37	4,39	1,23	1,39	2,37	5,31	3,75	5,33	4,21	12,20	9,67	1,15
Ti %	0,32	0,27	0,45	0,45	0,39	0,46	0,46	0,42	0,37	0,28	0,45	0,35	0,27	0,34	0,45
Fe %	2,36	2,24	3,02	3,64	4,47	3,25	4,24	3,49	3,49	2,63	3,74	3,69	1,81	3,01	5,08
Be mg kg⁻¹	0,72	1,21	0,94	1,16	1,00	1,14	1,32	1,10	1,18	0,34	1,43	1,15	0,61	1,20	2,2
V mg kg⁻¹	38	28	33	39	43	31	52	43	50	25	63	45	29	50	64
Co mg kg⁻¹	8,6	7,0	10,2	13,0	22	10,5	16,8	10,3	12,1	11,2	18,0	22	6,0	12,1	19,0
As mg kg⁻¹	9,9	9,4	11,3	21	13,4	13,9	15,8	12,3	18,7	5,1	14,9	11,7	7,7	12,4	21
Se mg kg⁻¹	0,81	0,71	1,15	1,07	1,30	1,16	1,47	1,05	1,03	0,67	1,30	1,10	0,82	1,25	2,33
Mo mg kg⁻¹	0,30	0,41	0,30	0,61	0,20	0,29	0,32	0,22	1,16	<0,1	0,46	0,50	0,23	0,27	1,89
Cd mg kg⁻¹	0,20	0,29	0,22	0,19	0,21	0,35	0,24	0,30	0,34	0,14	0,28	0,23	0,17	0,35	0,43
Sb mg kg⁻¹	0,40	0,41	0,58	1,08	0,78	0,50	0,61	0,51	0,63	0,36	0,56	0,60	0,36	0,43	1,21
Tl mg kg⁻¹	0,20	0,16	0,25	0,23	0,30	0,18	0,33	0,31	0,27	0,17	0,32	0,20	0,13	0,29	0,25
Pb mg kg⁻¹	17,7	23	26	29	21	24	22	18,5	28	11,0	31	21	16,1	19,4	32
Cr mg kg⁻¹	31	39	34	34	157	37	41	34	24	114	49	112	21	49	153
Cu mg kg⁻¹	26	17,6	24	37	43	56	58	31	101	18,4	62	44	16,8	26	57
Mn mg kg⁻¹	493	380	659	745	1071	668	950	567	604	433	1286	813	284	553	275
Ni mg kg⁻¹	30	26	30	30	168	28	37	31	22	100	51	122	17,9	50	141
Zn mg kg⁻¹	63	63	77	122	92	125	100	82	80	59	101	92	49	89	125
Hg mg kg⁻¹	0,02	0,12	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,07	0,05	0,06
Sn mg kg⁻¹	0,60	0,68	1,46	1,36	0,64	1,46	0,69	0,65	0,97	0,43	0,89	0,86	1,23	1,03	1,35

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

CAMPIONI	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
pH	6,49	8,63	8,16	8,22	8,37	8,26	8,78	7,70	8,70	8,57	8,50	8,54	8,03	8,62	8,27
argilla %	21,41	0,33	14,78	26,07	21,75	46,42	26,53	50,38	8,91	42,51	20,34	27,11	47,89	27,40	28,01
limo%	55,79	40,19	28,25	55,51	43,49	42,69	-2,44	36,47	27,85	47,51	49,38	45,04	32,51	34,38	52,65
sabbia%	22,79	59,48	56,97	18,42	34,76	10,89	75,91	13,16	63,24	9,98	30,28	27,85	19,60	38,22	19,33
CSC meq/100 g	18,25	10,60	12,78	18,81	22,85	30,81	18,73	31,44	11,52	28,98	18,71	19,00	11,29	18,77	21,05
N %	0,12	0,13	0,10	0,13	0,13	0,18	0,14	0,18	0,09	0,17	0,14	0,13	0,14	0,14	0,17
C %	0,98	4,44	2,99	4,55	3,05	2,00	1,20	1,60	1,06	1,36	2,37	1,28	1,96	1,78	2,42
Calcare %	<0,20	23,83	15,20	25,12	13,29	5,87	0,57	<0,20	1,60	0,27	8,09	1,43	7,05	2,39	8,48
C inorg %	<0,02	2,86	1,82	3,01	1,59	0,70	0,07	<0,02	0,19	0,03	0,97	0,17	0,85	0,29	1,02
C org %	0,98	1,58	1,17	1,53	1,46	1,30	1,13	1,60	0,87	1,33	1,40	1,11	1,12	1,49	1,40
C/N	8,47	12,23	12,28	11,88	11,12	7,16	7,88	8,70	10,14	7,98	10,14	8,78	7,75	10,63	8,26
SO %	1,69	2,72	2,01	2,64	2,51	2,24	1,95	2,75	1,50	2,29	2,42	1,91	1,93	2,57	2,41
Na %	0,76	0,52	0,53	0,51	0,57	0,51	0,67	0,46	1,01	0,55	0,70	0,70	0,24	0,61	0,62
Mg %	1,12	2,56	1,73	1,64	1,40	2,21	2,32	2,01	1,86	2,47	2,21	2,26	1,25	1,99	2,22
Al %	7,98	5,88	6,61	4,97	5,78	7,84	7,25	8,61	5,71	8,02	6,83	7,54	7,78	7,09	7,08
Si %	26,90	22,30	23,20	22,50	25,00	24,60	24,80	24,50	26,80	24,20	24,30	25,40	26,60	25,20	24,70
P %	0,07	0,09	0,13	0,11	0,11	0,07	0,09	0,07	0,13	0,76	0,11	0,09	0,10	0,09	0,11
K %	2,16	1,97	1,93	1,58	1,59	2,16	2,23	1,98	1,85	2,26	2,11	2,17	0,94	2,17	2,21
Ca %	0,83	9,65	5,09	11,60	6,57	2,51	1,24	1,18	2,07	1,35	4,76	1,65	4,12	2,43	4,19
Ti %	0,46	0,30	0,35	0,28	0,35	0,42	0,43	0,44	0,32	0,44	0,37	0,41	0,45	0,36	0,38
Fe %	3,42	2,77	2,83	2,13	2,52	4,91	4,69	5,06	2,97	5,32	3,66	4,51	4,31	3,88	3,99
Be mg kg⁻¹	1,29	1,00	0,90	0,91	0,75	1,42	1,37	1,91	0,82	1,66	1,13	0,85	1,66	1,36	0,73
V mg kg⁻¹	40	52	46	37	38	60	49	69	29	63	39	44	67	47	42
Co mg kg⁻¹	13,7	9,9	8,4	8,6	8,2	21	22	19,4	14,4	25	17,5	19,4	13,7	16,4	17,1
As mg kg⁻¹	27	16,2	15,7	12,3	9,0	11,9	10,8	21	8,8	13,3	11,3	14,2	4,8	15,8	8,9
Se mg kg⁻¹	1,23	0,91	0,69	0,86	0,89	1,84	1,36	1,64	0,73	1,60	1,02	1,03	1,59	1,13	1,24
Mo mg kg⁻¹	0,42	2,4	2,1	0,52	0,26	0,28	0,23	0,96	0,25	0,34	0,42	0,47	0,45	0,78	0,41
Cd mg kg⁻¹	0,23	0,47	0,32	0,34	0,19	0,30	0,35	0,42	0,25	0,37	0,29	0,16	0,28	0,31	0,34
Sb mg kg⁻¹	0,54	0,72	0,75	0,43	0,34	0,78	0,63	0,85	0,39	0,92	0,61	0,64	0,23	0,68	0,71
Tl mg kg⁻¹	0,21	0,53	0,42	0,21	0,19	0,29	0,28	0,32	0,15	0,32	0,19	0,19	0,23	0,26	0,29
Pb mg kg⁻¹	22	33	29	18,9	23	26	23	36	15,4	30	23	24	10,8	41	21
Cr mg kg⁻¹	38	28	22	29	34	147	162	144	88	196	96	136	78	85	120
Cu mg kg⁻¹	23	74	19,9	38	28	57	55	56	68	81	85	63	146	34	65
Mn mg kg⁻¹	551	468	484	410	523	945	1031	392	515	816	756	817	695	723	863
Ni mg kg⁻¹	32	27	21	25	30	145	165	124	87	191	102	132	40	79	124
Zn mg kg⁻¹	70	98	75	72	76	124	114	131	64	138	91	102	127	92	110
Hg mg kg⁻¹	0,04	0,03	0,03	0,03	0,07	0,08	0,04	0,04	0,02	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04	0,05
Sn mg kg⁻¹	0,46	0,60	40	3,7	1,12	0,62	0,66	0,87	0,22	1,02	0,37	0,86	0,96	0,74	0,45

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

CAMPIONI	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
pH	8,83	8,74	8,36	8,75	8,19	8,66	8,44	8,29	8,25	8,80	8,20
argilla %	14,92	28,66	18,33	17,96	55,64	24,47	53,28	56,59	49,41	32,87	30,27
limo%	43,10	60,38	48,75	58,85	25,15	62,58	42,42	37,57	43,96	58,01	59,49
sabbia%	41,99	10,96	32,92	23,19	19,20	12,95	4,30	5,84	6,63	9,12	10,24
CSC meq/100 g	12,60	25,13	18,67	16,97	18,38	21,08	29,95	36,33	27,08	26,37	23,17
N %	0,06	0,14	0,15	0,12	0,18	0,18	0,18	0,20	0,17	0,16	0,15
C %	2,23	1,79	2,73	2,60	2,05	2,84	2,74	2,50	2,23	1,39	6,29
Calcare %	12,51	4,78	11,55	10,99	6,51	12,75	11,93	8,16	7,75	0,89	38,92
C inorg %	1,50	0,57	1,39	1,32	0,78	1,53	1,43	0,98	0,93	0,11	4,67
C org %	0,73	1,22	1,34	1,28	1,27	1,31	1,30	1,52	1,30	1,28	1,62
C/N	11,62	8,64	8,75	10,72	7,01	7,48	7,32	7,57	7,47	7,98	11,14
SO %	1,26	2,10	2,31	2,20	2,18	2,26	2,25	2,63	2,24	2,21	2,79
Na %	0,69	0,65	0,67	0,64	0,09	0,58	0,40	0,40	0,45	0,65	0,30
Mg %	2,26	2,41	2,17	2,14	1,19	2,13	1,76	1,94	2,09	2,54	1,29
Al %	5,99	7,43	6,65	6,53	8,48	6,84	7,73	8,05	7,59	7,92	4,43
Si %	24,30	24,90	25,00	24,60	26,50	24,30	24,10	23,70	23,80	25,60	19,90
P %	0,07	0,08	0,12	0,09	0,12	0,10	0,07	0,07	0,09	0,09	0,07
K %	1,92	2,14	2,04	1,99	0,92	2,21	2,50	2,30	2,37	2,37	1,80
Ca %	6,69	3,14	5,67	6,21	3,79	5,72	5,17	3,60	3,76	1,71	18,80
Ti %	0,33	0,41	0,35	0,35	0,48	0,36	0,40	0,38	0,41	0,45	0,20
Fe %	3,29	4,44	3,51	3,54	4,74	3,77	4,27	4,68	4,81	4,99	2,06
Be mg kg ⁻¹	0,60	1,21	0,76	1,42	1,88	0,91	1,50	1,32	1,33	1,27	0,61
V mg kg ⁻¹	32	46	36	46	66	40	55	55	63	50	40
Co mg kg ⁻¹	16,8	21	14,7	24	12,9	17,3	23	18,9	25	24	17,2
As mg kg ⁻¹	9,5	11,0	7,5	15,0	3,7	10,1	10,9	11,6	16,3	11,5	5,1
Se mg kg ⁻¹	0,81	1,28	1,06	1,65	1,87	1,00	1,37	1,65	1,98	1,57	0,92
Mo mg kg ⁻¹	0,43	0,28	0,23	0,80	0,41	0,55	0,54	1,00	0,64	0,25	0,11
Cd mg kg ⁻¹	0,25	0,27	0,24	0,32	0,31	0,14	0,33	0,33	0,31	0,36	0,19
Sb mg kg ⁻¹	0,57	0,69	0,41	0,86	0,18	0,51	0,60	0,82	0,88	0,78	0,42
Tl mg kg ⁻¹	0,14	0,27	0,23	0,29	0,27	0,18	0,28	0,21	0,29	0,34	0,23
Pb mg kg ⁻¹	17,7	22	13,5	25,9	9,4	18,1	27	21	30	25	14,2
Cr mg kg ⁻¹	116	139	106	105	74	102	86	134	135	161	70
Cu mg kg ⁻¹	35	64	52	48	82	69	60	57	61	146	36
Mn mg kg ⁻¹	706	1022	757	811	568	815	964	669	738	1219	1400
Ni mg kg ⁻¹	116	146	110	111	34	107	93	142	139	169	85
Zn mg kg ⁻¹	81	102	86	84	129	100	114	120	123	137	77
Hg mg kg ⁻¹	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05
Sn mg kg ⁻¹	0,58	0,67	0,51	0,41	0,90	1,48	1,41	1,15	1,24	0,88	0,36

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

CAMPIONI	152	153	154	155	157	158	159	160	161	162
pH	8,17	8,13	8,08	8,00	8,41	6,90	7,18	6,94	6,27	8,88
argilla %	16,23	39,70	37,01	25,79	3,92	9,24	4,26	6,12	7,31	7,78
limo%	38,30	39,53	50,50	44,27	35,71	39,97	39,70	44,22	57,79	38,17
sabbia%	45,47	20,77	12,49	29,94	60,37	50,79	56,04	49,66	34,90	54,05
CSC meq/100 g	16,11	19,89	24,20	14,67	12,10	21,35	10,97	13,00	15,98	8,74
N %	0,20	0,14	0,21	0,28	0,19	0,25	0,12	0,14	0,15	0,06
C %	3,86	1,95	4,09	3,32	4,55	2,29	1,07	1,15	1,16	1,80
Calcare %	16,22	5,58	19,34	8,84	17,76	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	9,49
C inorg %	1,95	0,67	2,32	1,06	2,13	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,14
C org %	1,91	1,28	1,77	2,26	2,42	2,29	1,07	1,15	1,16	0,66
C/N	9,54	9,30	8,42	8,11	12,60	9,25	8,79	8,11	7,85	11,26
SO %	3,30	2,21	3,05	3,90	4,18	3,95	1,84	1,98	2,00	1,15
Na %	0,53	0,31	0,33	0,37	0,62	0,85	0,94	1,01	0,98	0,81
Mg %	2,67	0,96	1,18	0,81	2,35	1,12	0,96	0,98	1,08	2,26
Al %	5,56	6,76	6,97	6,13	5,23	7,26	6,34	6,88	7,40	5,88
Si %	23,30	24,20	26,30	28,20	22,20	27,70	27,60	27,20	28,20	24,70
P %	0,08	0,06	0,04	0,06	0,11	0,09	0,13	0,15	0,11	0,07
K %	2,07	2,01	1,80	1,67	1,74	1,71	1,58	1,72	1,91	1,77
Ca %	8,53	7,82	2,86	3,81	9,51	1,19	1,09	0,97	0,88	5,66
Ti %	0,28	0,34	0,37	0,36	0,29	0,44	0,39	0,42	0,48	0,34
Fe %	3,02	3,21	3,96	2,93	2,45	3,24	2,63	2,82	3,27	3,13
Be mg kg ⁻¹	0,60	1,32	1,49	1,17	0,37	1,02	0,49	0,68	1,13	0,53
V mg kg ⁻¹	34	40	49	32	23	33	25	27	36	28
Co mg kg ⁻¹	14,2	9,5	17,4	10,9	7,5	8,9	7,2	8,6	11,5	15,2
As mg kg ⁻¹	6,6	8,4	7,5	8,1	13,7	10,6	10,2	11,4	13,0	7,3
Se mg kg ⁻¹	0,85	1,41	1,26	1,26	0,58	1,00	0,66	0,73	1,32	0,86
Mo mg kg ⁻¹	<0,1	0,46	0,38	0,22	0,94	0,31	0,40	0,48	0,48	0,21
Cd mg kg ⁻¹	0,20	0,24	0,13	0,40	0,26	0,26	0,15	0,10	0,26	0,10
Sb mg kg ⁻¹	0,56	0,31	0,37	0,33	0,82	0,55	0,83	0,42	0,56	0,45
Tl mg kg ⁻¹	0,17	0,27	0,24	0,25	0,18	0,29	0,14	0,14	0,27	0,18
Pb mg kg ⁻¹	13,5	15,2	16,9	18,3	24	26	19,3	18,6	21	12,1
Cr mg kg ⁻¹	155	37	47	35	25	39	41	37	49	102
Cu mg kg ⁻¹	32	39	44	34	23	22	27	17,4	21	27
Mn mg kg ⁻¹	620	529	1183	741	382	451	365	478	643	601
Ni mg kg ⁻¹	139	36	63	40	26	31	34	30	40	108
Zn mg kg ⁻¹	76	86	80	86	97	75	105	62	75	59
Hg mg kg ⁻¹	0,06	0,05	0,04	0,04	0,09	0,09	0,08	0,05	0,08	0,04
Sn mg kg ⁻¹	1,17	0,96	0,69	1,29	1,07	1,09	2,0	0,56	0,89	0,26

BIBLIOGRAFIA

- [1] Decreto Legislativo 27 gennaio 1992, n.99. Attuazione della direttiva n. 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.
- [2] Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n°152, Norme in materia ambientale.
- [3] Land Use/Cover Area frame statistical Survey, EUROSTAT 2001
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/LUCAS_-_Land_use_and_land_cover_survey.
- [4] CORINE LANDCOVER 2000 (ISPRA)
<http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/biodiversita/documenti/europea-e-mediterranea/corine-land-cover-clc>.
- [5] SRTM 90 M (Digital Elevation Database
<http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1>.
- [6] Cenci R. M. (2008). Guidelines for the use of native mosses, transplanted mosses and soils in assessing organic and inorganic contaminant fallout. EUR 23292 EN. ISBN 978-92-79-08719-6. ISSN 1018-5593. 35 pp.
- [7] Soil Atlas of Europe, 2005.
http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/Soil_Atlas/Index.html.
- [8] Società Italiana della Scienza del Suolo: Metodi normalizzati di analisi del suolo. Edagricole, Bologna, 1985.
- [9] ARPAV: Determinazione dei Valori di fondo Naturale di Metalli e Metalloidi Nei Suoli dell'area del Sito Contaminato di Interesse Nazionale di Via dei Mille a Mardimago", marzo 2009.
- [10] Università degli Studi di Milano Dipartimento di Scienze della Terra 'A. Desio': LINEE GUIDA PER LA DETERMINAZIONE DEI VALORI DEL FONDO NATURALE NELL'AMBITO DELLA BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI, 2003.
- [11] Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici: Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale, Istituto Superiore di Sanità, Giugno 2006.
- [12] Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure: Linee guida per lo studio dei valori di fondo naturale di alcuni metalli e semimetalli nei suoli della Liguria, luglio 2013.
- [13] ERSAF e Regione Lombardia: Analisi del contenuto in rame ed altri metalli nei suoli agricoli lombardi, Quaderni di Riceca, n.61, febbraio 2007.
- [14] Giandon P, Garlato A, Ragazzi F: Valori di fondo di metalli e metalloidi nei suoli del Veneto, ARS n. 127 - ottobre / dicembre 2010.

Capitolo II: Radionuclidi in campioni di suolo della Regione Lombardia

Vengono presentati i risultati del Soil Project riguardanti la radioattività dei suoli. Scopo del progetto era di valutare il contenuto di ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs e ^{40}K , analizzando i campioni di terreno per spettrometria gamma. Le attività di ^{60}Co e ^{134}Cs sono risultate $< 0,5$ and $0,7 \text{ Bq kg}^{-1}$ rispettivamente. Le attività di ^{137}Cs variano da $0,4$ a $86,8 \text{ kBq m}^{-2}$, presentano una media aritmetica di $9,0 \pm 10,4$ e una media geometrica di $5,8 \pm 2,5 \text{ kBq m}^{-2}$. Le attività più basse si registrano in pianura, mentre le più alte al nord, in terreni tenuti a prato o a pascolo. I valori di ^{40}K variano da 242 a 1434 Bq kg^{-1} , presentano una media aritmetica di 640 ± 150 e una media geometrica di $623,3 \pm 1,3 \text{ Bq kg}^{-1}$. I valori di ^{40}K mostrano un'ampia dispersione spaziale di attività alte e basse sia in terreni di montagna che di pianura. I risultati di questa campagna di monitoraggio forniscono il punto zero all'epoca del campionamento, utile ai responsabili politici per valutare eventuali situazioni future di rischio.

1. Introduzione

Viene presentata l'attività svolta dall'Università Cattolica di Piacenza riguardante la radioattività dei terreni nell'ambito della prima fase del Soil Project (2011-2012). Scopo di questo lavoro è di monitorare la radioattività dei suoli lombardi campionati, facendone il "punto zero". In particolare sono stati misurati i radionuclidi artificiali ^{137}Cs , ^{134}Cs e ^{60}Co ed il radionuclide naturale ^{40}K , tutti gamma emittenti. Vengono forniti dettagli sul metodo di analisi dei campioni di terreno e i risultati delle misure.

2. Materiali e metodi

2.1 Prelievo e manipolazione del campione

Per una descrizione dettagliata della scelta dei punti di campionamento e delle modalità di prelievo si rimanda al paragrafo 1.1 del Capitolo I, "Monitoraggio chimico-fisico su tutto il territorio della Regione Lombardia".

In laboratorio i campioni di terreno sono stati sminuzzati grossolanamente ed essiccati in stufa a 40°C fino a peso costante. Sono stati poi disaggregati e setacciati a 2 mm per separare lo scheletro dalla terra fine. Su quest'ultima frazione sono state effettuate le analisi di radioattività. Campioni di $1,2 \text{ kg}$ di terra fine sono stati introdotti in

scatole Marinelli del volume di 1 L e sottoposti a spettrometria gamma diretta.

2.2 Analisi per spettrometria gamma diretta

Il metodo di analisi si rifà ai metodi UNI 10136 [1] e UNI 9882 [2]. Lo strumento utilizzato per la spettrometria gamma è dotato di rivelatore HPGe coassiale con un'efficienza relativa (ad $1,33 \text{ MeV}$ del ^{60}Co) del 38% ed una risoluzione (FWHM a $1,33 \text{ MeV}$ del ^{60}Co) di $1,76 \text{ keV}$. La Peak-to-Compton Ratio calcolata per il fotopico da $1,33 \text{ MeV}$ del ^{60}Co è $70,8$.

La calibrazione in efficienza del rivelatore è stata effettuata utilizzando una Marinelli da 1 L contenente una sorgente certificata, con massa volumica di $1,0 \text{ g/cm}^3$, contenente emettitori gamma di energia compresa fra 88 e 1836 keV (QCRB1242, TN953, Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH).

La calibrazione in energia del rivelatore è stata effettuata con una sorgente certificata puntiforme di ^{152}Eu da 37 kBq (Certificato No. 163787, Amersham).

Il tempo di misura è stato di 60.000 s per ogni campione. Il bianco è stato misurato analizzando per 60.000 s sia 1 L di acqua bidistillata in una Marinelli da 1 L , sia una scatola Marinelli da 1 L vuota.

2.3 Radionuclidi analizzati

Dei quattro radionuclidi oggetto del monitoraggio, ^{137}Cs , ^{134}Cs e ^{60}Co sono artificiali mentre il ^{40}K è naturale.

Il ^{137}Cs presente in modo diffuso sul territorio italiano deriva dal fallout da test nucleari in atmosfera degli anni '60 e dal fallout da incidente alla centrale nucleare di Chernobyl avvenuto il 26 aprile 1986. Dato il suo tempo di dimezzamento di 30,25 anni, viene ancora rivelato in matrici ambientali nelle aree geografiche interessate dalle ricadute.

Il ^{134}Cs è stato depositato al suolo insieme al ^{137}Cs in seguito all'incidente di Chernobyl. Dato che il suo tempo di dimezzamento è di 2,07 a, la sua attività oggi – 27 anni dopo l'incidente – è di 4 ordini di grandezza inferiore rispetto a quella iniziale. Considerando inoltre che l'attività di ^{134}Cs inizialmente depositata al suolo era approssimativamente $\frac{1}{2}$ di quella del ^{137}Cs , è improbabile rivelarlo in campioni del territorio italiano e del centro Europa, a meno di contaminazioni accidentali.

Il ^{60}Co è un radionuclide con tempo di dimezzamento di 5,27 a utilizzato in varie applicazioni quali la medicina, l'industria, la ricerca. La sua presenza nell'ambiente sarebbe indice di errore umano, smaltimento scorretto o atto terroristico.

Il ^{40}K è un radionuclide primordiale, comparso al tempo di formazione della terra ($6 \cdot 10^9$ anni fa), e ancora presente dato il suo lungo tempo di dimezzamento: $1,26 \cdot 10^9$ a. È abbondante e distribuito in modo ubiquitario nella materia vivente e non vivente.

2.4 Espressione dei dati

Il software utilizzato dalla catena per spettrometria gamma è il Genie 2000 della Canberra Nuclear. I valori di radioattività sono stati espressi come Bq/kg di terreno secco. Per ogni campione è stata riportata l'incertezza di misura, calcolata come 2σ , al livello di fiducia del 95% [1]. I valori di attività del ^{137}Cs sono riferiti alla data del 21.09.2011, data di inizio delle analisi.

Per alcuni campioni la massa disponibile per l'analisi era inferiore a 1200 g (approssimativamente il volume di 1 L a prescindere da variazioni di densità). Al diminuire del volume l'efficienza di rivelazione diminuisce, per cui l'attività calcolata dal software, che utilizza la curva di calibrazione in efficienza per il volume di 1 L, fornisce una sovrastima del dato. Sono stati pertanto calcolati alcuni fattori di correzione per il ^{137}Cs nel modo seguente: è stato scelto un campione di cui fosse disponibile una massa superiore ai 1200 g e che presentasse un'attività di ^{137}Cs superiore al fondo. Masse crescenti di tale campione - 500 g, 850 g, 900 g, 1000 g, 1050 g, 1100 g, 1150 g, 1200 g - sono state sottoposte ad analisi in Marinelli da 1L. Dalle misure effettuate è stata ricavata una retta di regressione fra l'attività di ^{137}Cs misurata, espressa in Bq/kg , e la massa di terreno analizzato (Figura 1).

Il coefficiente di determinazione $r^2 = 0,994$ mostra come, nell'ambito dell'intervallo di massa considerato e per l'attività in oggetto, esista una buona correlazione fra il volume del campione e l'efficienza di misura. Dal rapporto fra l'attività di ^{137}Cs misurata e quella effettiva

sono stati ottenuti dei coefficienti di correzione, riportati in Tabella 1. I dati prodotti dal software, ove necessario, sono stati quindi divisi per tali coefficienti.

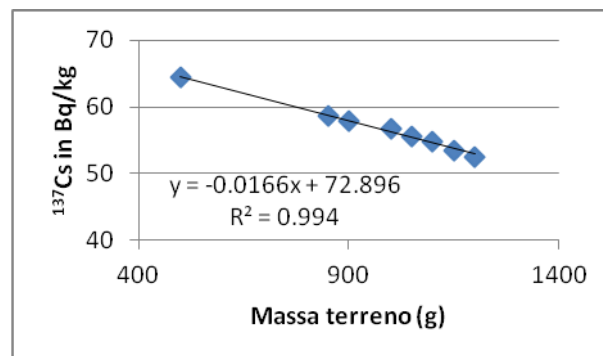


Figura 1. Attività di ^{137}Cs (in Bq/kg) contro la massa del terreno analizzato

Tabella 1: Coefficienti di correzione dell'attività di ^{137}Cs , calcolati per masse inferiori a 1200 g

Peso letto (g)	Coefficienti di correzione
500	1,23
850	1,11
900	1,10
1000	1,08
1050	1,06
1100	1,04
1150	1,02
1200	1,00

Le attività rivelate per il ^{137}Cs e per il ^{40}K sono state riportate in tabelle, campione per campione, espresse come Bq/kg di terreno secco (Appendici A1 e A2). Nel caso in cui il campione non presentasse radioattività quantificabile per un dato radionuclide, è stata riportata la minima attività rivelabile (MDA), espressa al livello di confidenza del 95%. Tale evenienza si è verificata per le attività di ^{60}Co e di ^{134}Cs (Tabella 2).

Per un confronto delle attività di ^{137}Cs con quelle di letteratura, i dati del ^{137}Cs sono stati anche espressi in kBq/m^2 . Per tale operazione si è tenuto conto della superficie e della profondità di campionamento e si è ipotizzata una massa volumica media del terreno pari a $1,2 \text{ g/cm}^3$. Ogni campione sottoposto ad analisi è un sotto campione del prelievo complessivo, costituito dalle 15 carote di terreno citate al punto 3.1. (diametro = 2,6 cm; profondità = 30 cm). La superficie campionata corrisponde a $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ e il volume totale di terreno è pari a $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Mediante questi dati le attività in Bq/kg sono state convertite in kBq/m^2 (Appendice A1).

3. Risultati e Discussione

3.1 Attività di ^{60}Co e di ^{134}Cs

Non sono state riscontrate quantità rivelabili né di ^{60}Co né di ^{134}Cs nei campioni analizzati. La loro attività è risultata sempre inferiore al limite di rivelazione del metodo impiegato: 0,5 e 0,7 Bq/kg per il ^{60}Co e il ^{134}Cs rispettivamente (Tabella 2).

Tabella 2: Attività di ^{60}Co e di ^{134}Cs nei campioni di terreno: sono riportate le MDA, espresse in Bq/kg di terreno secco

Campione	^{60}Co Bq/kg	^{134}Cs Bq/kg
Tutti i campioni analizzati	< 0,5	< 0,7

3.2 Attività di ^{137}Cs

Sono stati riportati in tabella i dati espressi sia in Bq/kg che in kBq/m^2 (Appendice A1). Va ricordato che in terreni indisturbati la maggior parte del ^{137}Cs è concentrata nello strato superficiale del terreno e diminuisce esponenzialmente con la profondità [3], mentre in terreni lavorati il ^{137}Cs viene ridistribuito lungo lo strato arabile, subendo quindi una sorta di omogeneizzazione verticale di tipo meccanico. Le attività riportate in questo lavoro rappresentano la media dello strato 0-30 cm di terreno, a prescindere dalla sua distribuzione lungo il profilo.

Tutti i 156 campioni di terreno analizzati presentano attività di ^{137}Cs , pur se con un'ampia variabilità: da 0,4 a 87 kBq/m^2 (corrispondenti a 1-241 Bq/kg). Dal grafico che riporta le attività dei terreni in ordine decrescente (Figura 2) si nota come, tranne due terreni con valori particolarmente elevati – 87 e 51 kBq/m^2 – tutti gli altri presentino attività di ^{137}Cs inferiore a 40 kBq/m^2 .

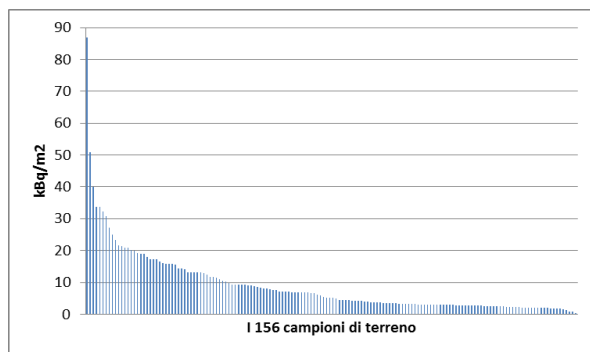


Figura 2. Attività di ^{137}Cs nei 156 campioni di terreno della regione Lombardia, espressa in kBq/m^2

Si è quindi cercato di ottenere informazioni sulla distribuzione dei dati, calcolandone gli indici di posizione: media aritmetica, moda, mediana (Tabella 3). È possibile notare come la media, 9 kBq/m^2 , non coincida con la mediana, 5 kBq/m^2 , né con la moda, 3 kBq/m^2 . Siamo quindi in presenza di una distribuzione non normale. Inoltre la mediana è minore della media, per cui la curva deve presentare una coda verso destra. Sono poi state calcolate la media geometrica, le deviazioni standard, i valori minimi e massimi, il 25°, 50°, 75°, 95°

percentile delle attività per il ^{137}Cs espresse sia in kBq/m^2 che in Bq/kg (Tabella 3).

Tabella 3: Indici di posizione relativi all'attività di ^{137}Cs dei 156 campioni analizzati, espressi in kBq/m^2 e in Bq/kg

Parametro	kBq/m^2	Bq/kg
Media aritmetica	9,0	25,0
Deviazione standard	10,4	29,0
Media geometrica	5,8	16,2
Deviazione standard geometrica	2,5	2,5
Minimo	0,4	1,1
Massimo	86,8	241,0
Moda	3,0	8,3
25° percentile	2,9	8,0
50° percentile/Mediana	5,1	14,3
75° percentile	11,9	33,0
95° percentile	27,7	77,0

I valori in Tabella 3 sono stati confrontati con la distribuzione di frequenza riportata nella Figura 3. La distribuzione di frequenza mostra un andamento lognormale, come prevedibile dal fatto che il valore della mediana, 5 kBq/m^2 , è più vicino alla media geometrica, 6 kBq/m^2 , che a quella aritmetica, 9 kBq/m^2 [4]. A conferma di ciò, il test di Kolmogorov-Smirnov (K-S test) effettuato mediante il programma SPSS, mostra che la distribuzione devia significativamente da una distribuzione normale ($p < 0,05$). Lo stesso test effettuato sui dati trasformati in logaritmi ($\log \text{ kBq/m}^2$) mostra che la distribuzione non devia significativamente da una distribuzione normale ($p > 0,05$). La distribuzione di frequenza dei dati espressi come $\log \text{ kBq/m}^2$ è rappresentata nella Figura 4 ed evidenzia un andamento vicino alla normalità.

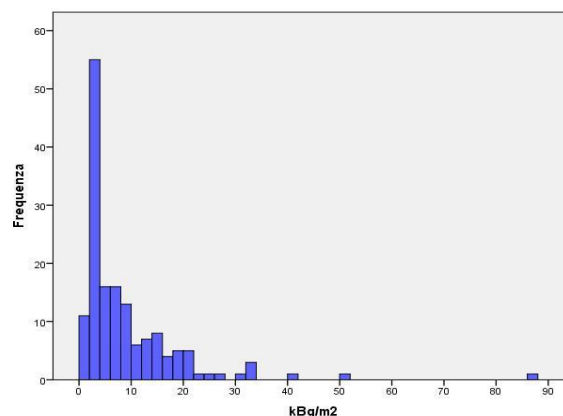


Figura 3. Distribuzione di frequenza delle attività di ^{137}Cs nei campioni di terreno, espresse in kBq/m^2

Dalla Figura 3 si nota come le classi di terreno più rappresentate siano quelle con valori inferiori a 10 kBq/m^2 . A conferma di ciò si trova un 75% percentile di 12 kBq/m^2 . Sempre dal grafico si nota come la classe a maggior frequenza presenti valori da 2 a 4 kBq/m^2 . Infatti la moda calcolata è di 3 kBq/m^2 . Il valore centrale, la mediana, corrisponde a 5 kBq/m^2 . Interessante notare

anche la posizione del 95° percentile, corrispondente a 28 kBq/m^2 (Tabella 3, Figura 3, Figura 5). L'analisi complessiva dei dati è stata seguita da un'analisi più puntuale. È noto come il fallout da Chernobyl si sia depositato in modo eterogeneo sul territorio europeo (da scala di km a scala regionale), concentrandosi nelle aree geografiche oggetto di precipitazioni meteoriche particolarmente abbondanti nei giorni successivi all'evento, in particolare nelle vallate alpine [5, 6, 7]. I dati sono stati pertanto analizzati dal punto di vista della loro distribuzione geografica (Figura 6).

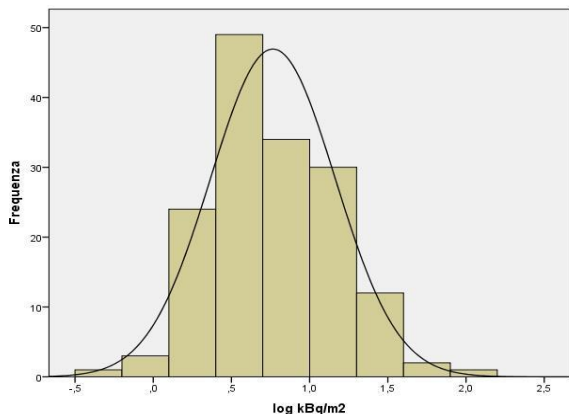


Figura 4. Distribuzione di frequenza delle attività di ^{137}Cs nei campioni di terreno, espresse in $\log kBq/m^2$

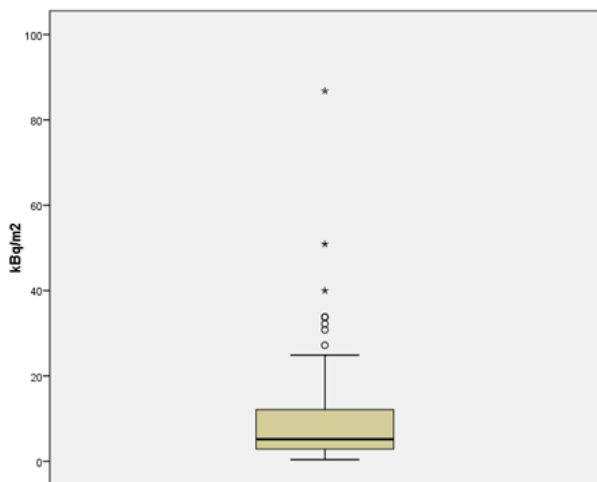


Figura 5. Grafico a scatola delle attività di ^{137}Cs in campioni di terreno, espresse in kBq/m^2

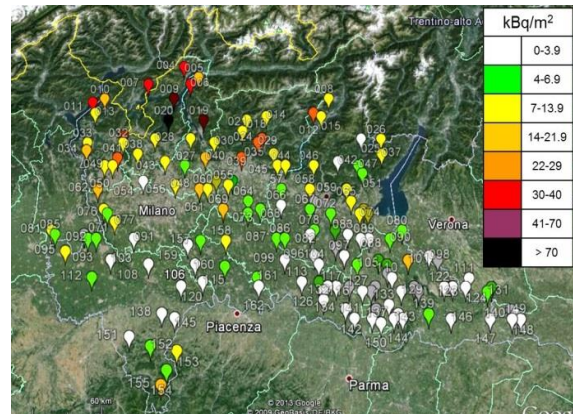


Figura 6. Carta della regione Lombardia con indicati i 156 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m^2

I sette valori più elevati – dal 95° al 100° percentile – si trovano nei dintorni del lago di Como e si estendono in particolare dalla sponda destra del lago Maggiore fino alla parte occidentale del lago di Como in provincia di Lecco (Figura 6). Tali risultati trovano riscontro nel “Rapporto sullo stato dell’ambiente in Lombardia” che riporta come “i rilievi effettuati nei primi mesi dopo la deposizione evidenziarono una contaminazione più consistente nella parte nord-ovest della regione ed in particolare nella zona compresa tra Como e Lecco (Triangolo Lariano) e nella zona del lago Ceresio, tra le province di Como e Varese” [7, 8].

I due terreni ad attività più elevata, 87 kBq/m^2 e 51 kBq/m^2 , sono stati prelevati in provincia di Como (20 e 9). I successivi cinque campioni più contaminati presentano attività fra i 30 e i 40 kBq/m^2 , e provengono dalle province di Lecco, Como, Varese (19, 4, 11, 6 e 7) (Figura 6). I livelli di radioattività si trovano in accordo con quanto riportato dall’Atlante Europeo della contaminazione di Chernobyl, che presenta un’attività di ^{137}Cs nella zona intorno a Lecco fra i 40 e i 100 kBq/m^2 , e nella zona di Como, Lugano, Varese, fra i 20 e i 40 kBq/m^2 [9].

Una notevole variabilità spaziale del ^{137}Cs anche su piccola scala è stata riportata da vari autori, specie in terreni di montagna non lavorati [3, 10]. Non è raro per due campioni di terreno raccolti a distanza di un metro uno dall’altro presentare differenze di 50-100% nelle concentrazioni di inquinanti [11]. In generale l’ampia variazione di attività alla scala di 1 m evidenzia sia che il ^{137}Cs non è stato depositato in modo omogeneo, sia che i processi di trasporto secondario come erosione ed accumulo possono portare ad una elevata eterogeneità su piccola scala [12 citato da 3].

Punti come il 20, in provincia di Como, ad attività particolarmente elevata rispetto ai punti circostanti, fanno ipotizzare di trovarsi in una cosiddetta zona di accumulo di radioattività, detta anche punto caldo, cioè zona di passaggio preferenziale delle acque del disgelo delle nevi, dove si sarebbe riconcentrato ^{137}Cs inizialmente depositato su una più vasta superficie [13]. Questo fenomeno è stato riscontrato più volte anche da ARPA

nell'ambito di attività di monitoraggio di ^{137}Cs in Valle d'Aosta [14]. Un'altra conferma di questo fenomeno viene data da Korobova e Romanov che, esaminando la struttura spaziale del ^{137}Cs come trasformazione secondaria del fallout iniziale, dovuta a migrazione laterale e verticale in cui l'acqua agisce come principale agente di migrazione fisica e chimica relativa alle caratteristiche dei meso- e micro-rilievi, hanno notato una considerevole variazione entro le stesse mesoforme caratterizzata da relative diminuzioni di radionuclidi nei punti più alti e accumulo nei punti più bassi [10]. Sono stati analizzati i dati di ^{137}Cs anche dal punto di vista della configurazione politica della regione Lombardia. In Tabella 4 sono riportati i valori di ^{137}Cs espressi in kBq/m^2 calcolati provincia per provincia. Il numero di campioni analizzati per provincia è disomogeneo, conseguenza sia della diversa estensione geografica delle province, che del diverso uso del suolo. Lo scopo principale del progetto era infatti quello di monitorare i terreni adibiti ad uso agricolo. La media aritmetica, la deviazione standard, il valore minimo e massimo per ogni provincia mostrano di nuovo come le attività più alte si trovino nelle province più a nord, quali Como, Lecco, Varese e Sondrio. I punti di campionamento sono stati visualizzati provincia per provincia nelle Figure da 7 a 19.

Tabella 4: Attività di ^{137}Cs nel terreno delle province della Lombardia, espressa in kBq/m^2 . Per ogni provincia sono riportati: il numero di campioni prelevati, la media aritmetica, la deviazione standard (ds) e i valori minimo e massimo

Provincia	Numero di campioni	Media \pm ds kBq/m^2	Minimo kBq/m^2	Massimo kBq/m^2
Bergamo	12	15 ± 6	5	27
Brescia	29	8 ± 5	0,4	21
Como	7	35 ± 27	8	87
Cremona	17	4 ± 4	2	20
Lecco	5	24 ± 12	11	40
Lodi	6	4 ± 3	1	9
Mantova	37	4 ± 3	2	21
Monza	2	8 ± 2	7	9
Brianza				
Milano	9	10 ± 6	3	19
Pavia	18	5 ± 4	1	14
Sondrio	3	16 ± 8	7	23
Varese	9	16 ± 8	9	34
Fuori Regione*	2	5 ± 4	2	8

*Fuori regione: 2 campionamenti posizionati al di fuori dei confini della regione Lombardia

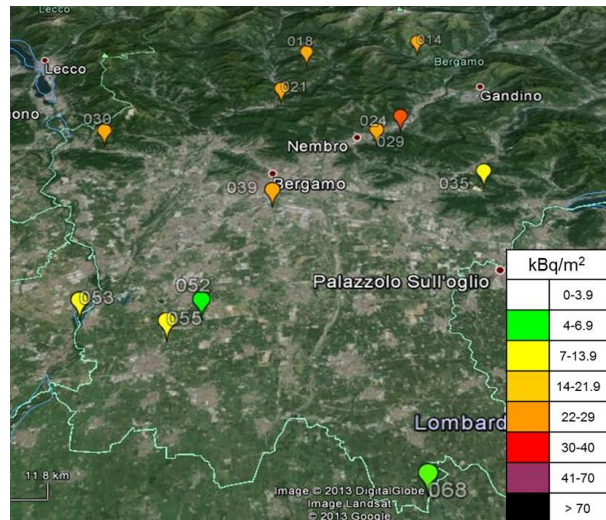


Figura 7. Carta della provincia di Bergamo con indicati i 12 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m^2

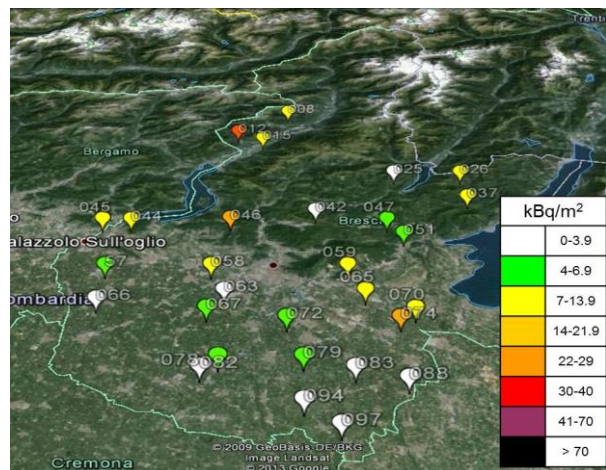


Figura 8. Carta della provincia di Brescia con indicati i 29 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m^2

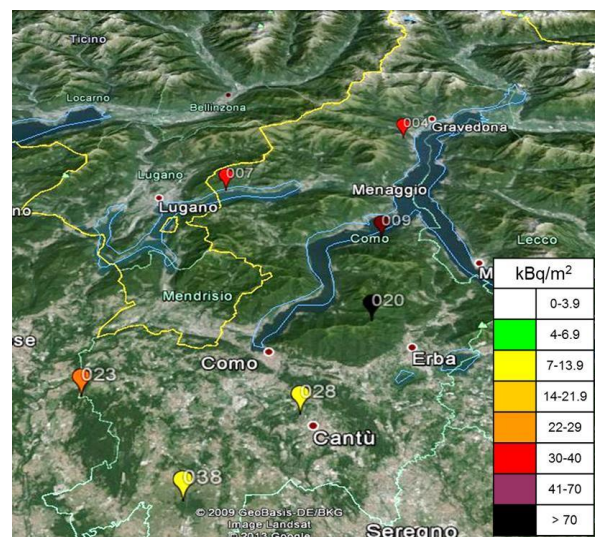


Figura 9. Carta della provincia di Como con indicati i 7 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m^2

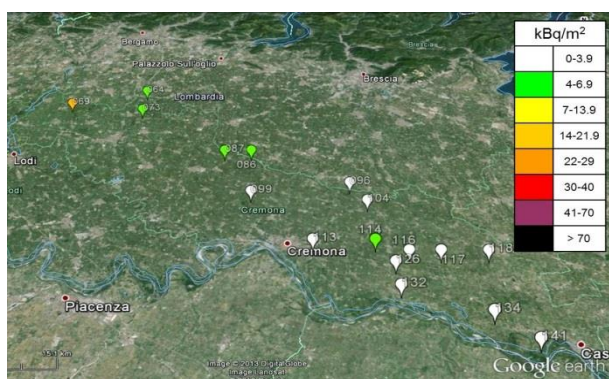


Figura 10. Carta della provincia di Cremona con indicati i 17 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m^2

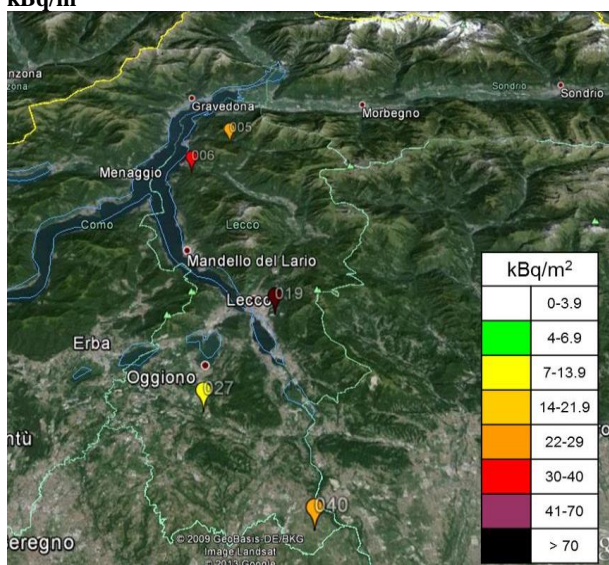


Figura 11. Carta della provincia di Lecco con indicati i 5 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m^2

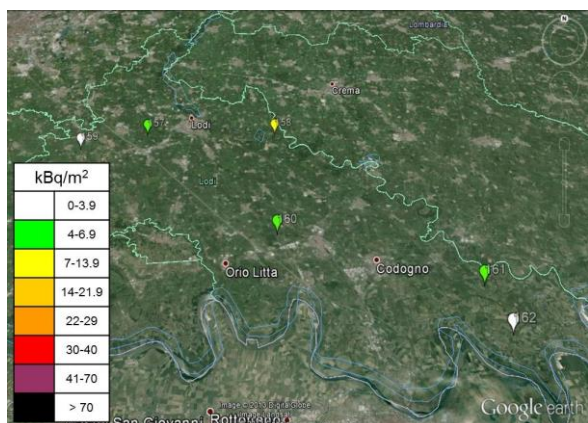


Figura 12. Carta della provincia di Lodi con indicati i 6 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m^2

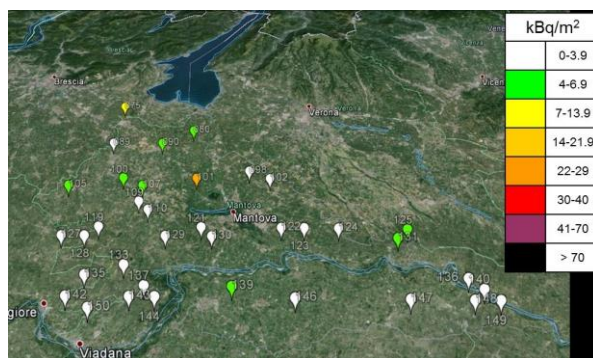


Figura 13. Carta della provincia di Mantova con indicati i 37 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m^2

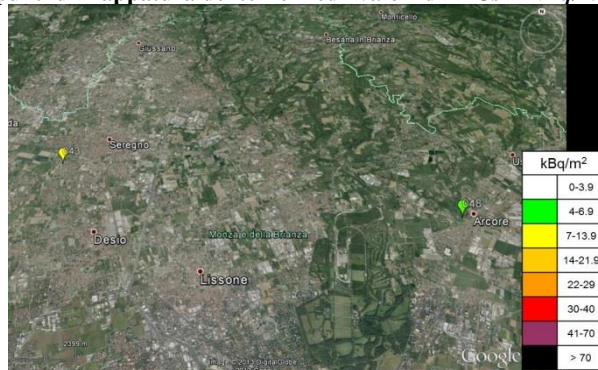


Figura 14. Carta della provincia di Monza Brianza con indicati i 2 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m^2

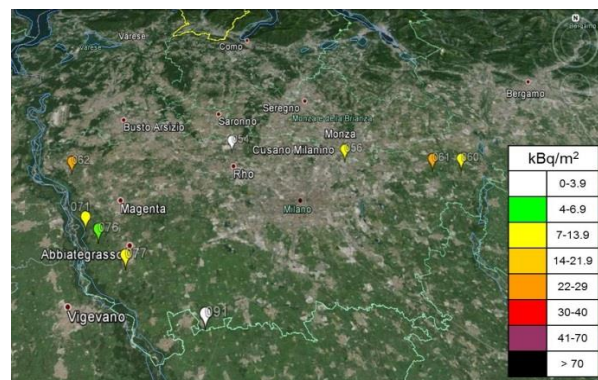


Figura 15. Carta della provincia di Milano con indicati i 9 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m^2

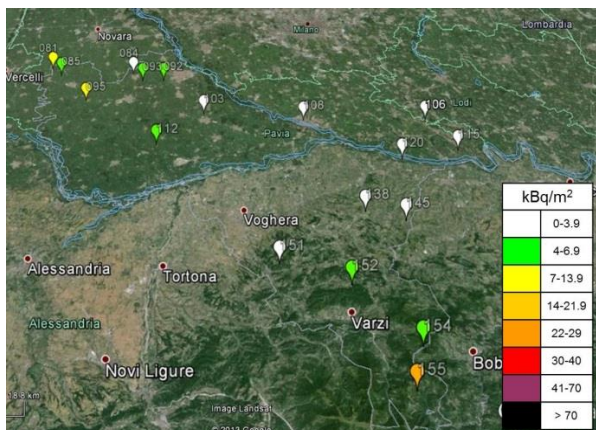


Figura 16. Carta della provincia di Pavia con indicati i 18 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m²

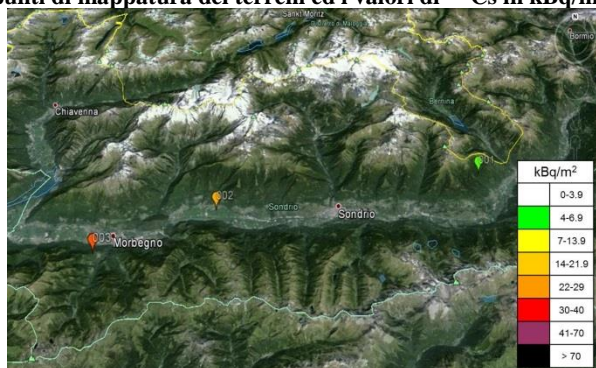


Figura 17. Carta della provincia di Sondrio con indicati i 3 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m²

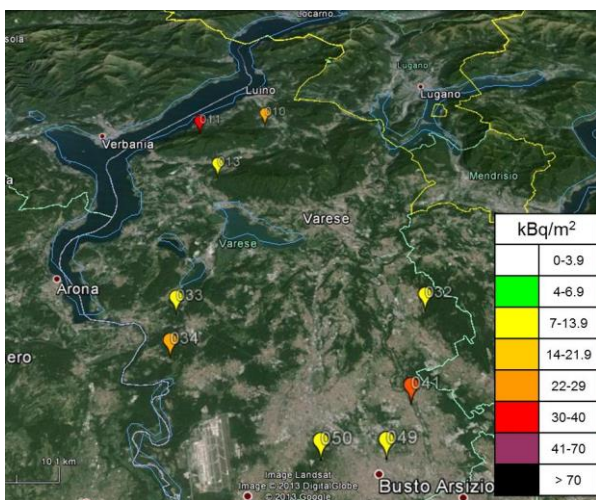


Figura 18. Carta della provincia di Varese con indicati i 9 punti di mappatura dei terreni ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m²

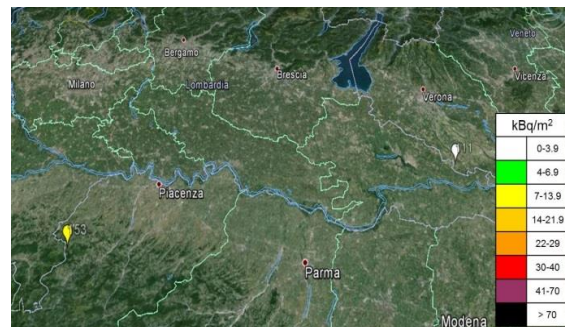


Figura 19. Carta che riporta i due punti di campionamento Fuori Regione ed i valori di ^{137}Cs in kBq/m²

3.3 Attività di ^{40}K

In Tabella 5 sono riportati i valori medi, minimi, massimi, deviazioni standard, percentili relativi all'attività di ^{40}K dei 156 campioni analizzati, espressi in Bq/kg . Le attività variano da 242 a 1434 Bq/kg , presentano una media aritmetica di 640 Bq/kg ed una deviazione standard di 150 Bq/kg . La distribuzione in classi di frequenza è riportata in Figura 21. Il test di Kolmogorov-Smirnov applicato ai dati di ^{40}K mostra come non possa essere rifiutata l'ipotesi di una distribuzione normale né di una distribuzione lognormale, come verificato anche da altri autori [15].

Il potassio è abbondante in natura ed è distribuito in modo ubiquitario nella materia vivente e non vivente. La sua concentrazione nel terreno può variare in modo sostanziale con la posizione geografica. Dipende infatti da diverse proprietà del suolo, risultanti dalla composizione chimica e fisica della roccia madre e dalla genesi del suolo in diverse condizioni climatiche [16 citato da 17]. Dati di letteratura riportano che la concentrazione di ^{40}K nelle rocce varia da 70 a 1500 Bq/kg , e quella del terreno da 100 a 700 Bq/kg , con una media di 370 Bq/kg [18 citato da 19]. Si citano solo alcune fra le altre fonti in letteratura che riportano concentrazioni nel terreno: da 326,0 a 565,7 con media di $398,5 \pm 45,1$ a Salzburg, Austria [20], da 61,0 a 316,7 Bq/kg con una mediana di 117,5 Bq/kg in India del sud [21], da 292,81 a 659,57 Bq/kg nell'Egitto del sud [22].

Tabella 5: Valori medi, minimi, massimi, deviazioni standard, percentili relativi all'attività di ^{40}K dei 156 campioni analizzati, espressi in Bq/kg

Parametro	Bq/kg
Media aritmetica	640,0
Deviazione standard	150,3
Media geometrica	623,3
Deviazione standard geometrica	1,3
Minimo	241,8
Massimo	1433,8
Moda	554,8
25° percentile	547,9
50° percentile/ mediana	616,5
75° percentile	719,7
95° percentile	898,6

Dall'attività di ^{40}K per ogni terreno è stata ricavata la concentrazione di potassio totale nel terreno stesso, note la percentuale isotopica del ^{40}K in natura pari a 0,0118% e la costante di decadimento per il ^{40}K , $\lambda = 1,745963 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1}$. I valori così ricavati sono stati confrontati con i valori di K totale misurati dal CESI mediante XRF. La correlazione fra i due set di valori è mostrata nella Figura 22. Il coefficiente di determinazione r^2 è pari a 0,85.

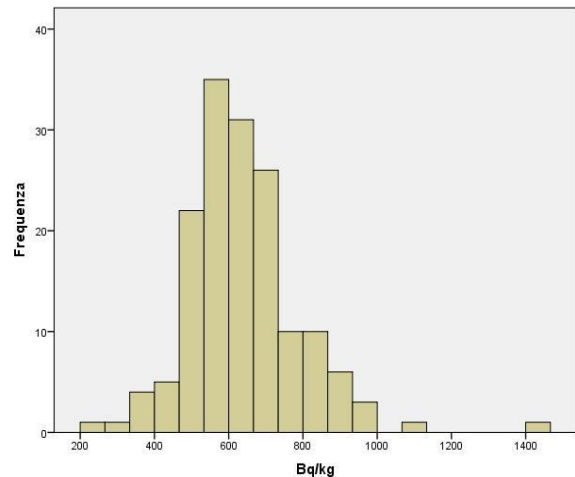


Figura 20. Distribuzione di frequenza delle attività di ^{40}K nei campioni di terreno, espresse in Bq/kg

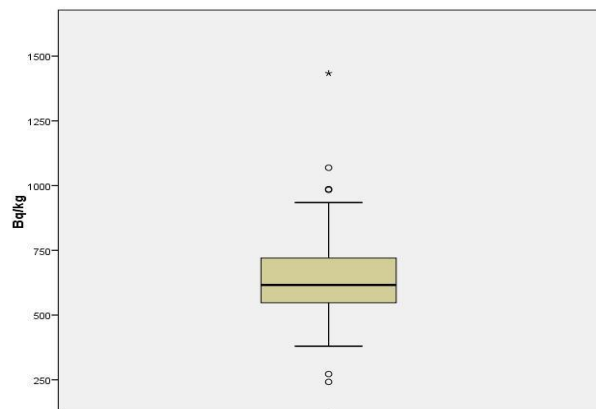


Figura 21. Grafico a scatola delle attività di ^{40}K in campioni di terreno, espresse in Bq/kg

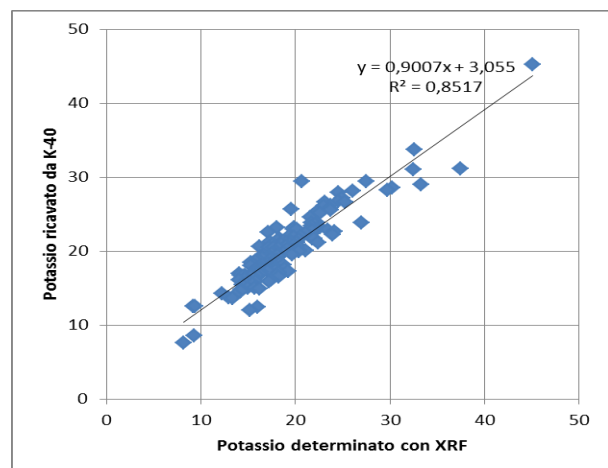


Figura 22. Correlazione fra K ricavato da ^{40}K e K determinato con XRF

APPENDICE A.1

Attività di ^{137}Cs nei campioni di terreno, espressa in Bq/kg di terreno secco $\pm 2\sigma$ e in kBq/m^2 di terreno $\pm 2\sigma$, riferita al 21/09/2011

Campione	Bq/kg	$\pm 2\sigma$	kBq/m^2	$\pm 2\sigma$
001/SO/01/2011	19,4	0,3	7,0	0,1
002/SO/02/2011	45,7	0,5	16,4	0,2
003/SO/03/2011	64,8	0,7	23,3	0,2
004/CO/01/2011	93,9	0,9	33,8	0,3
005/LC/01/2011	47,7	0,6	17,2	0,2
006/LC/02/2011	89,3	0,8	32,2	0,3
007/CO/02/2011	85,6	0,8	30,8	0,3
008/BS/01/2011	25,4	0,4	9,1	0,1
009/CO/03/2011	141,5	1,2	50,9	0,4
010/VA/01/2011	48,1	0,6	17,3	0,2
011/VA/02/2011	93,8	0,9	33,8	0,3
012/BS/02/2011	59,6	0,7	21,4	0,2
013/VA/03/2011	25,9	0,4	9,3	0,1
014/BG/01/2011	44,1	0,6	15,9	0,2
015/BS/03/2011	32,3	0,3	11,6	0,1
018/BG/03/2011	44,3	0,5	15,9	0,2
019/LC/03/2011	111,0	1,0	40,0	0,3
020/CO/05/2011	241,0	2,0	86,8	0,7
021/BG/04/2011	43,7	0,5	15,7	0,2
023/CO/06/2011	69,2	0,7	24,9	0,2
024/BG/06/2011	75,7	0,8	27,2	0,3
025/BS/04/2011	1,1	0,1	0,4	0,0
026/BS/05/2011	36,5	0,5	13,1	0,2
027/LC/04/2011	31,8	0,4	11,5	0,2
028/CO/07/2011	28,3	0,4	10,2	0,1
029/BG/06/2011	52,7	0,6	19,0	0,2
030/BG/08/2011	43,9	0,5	15,8	0,2
032/VA/04/2011	36,4	0,5	13,1	0,2
033/VA/05/2011	36,1	0,5	13,0	0,2
034/VA/06/2011	50,1	0,6	18,0	0,2
035/BG/09/2011	36,3	0,5	13,1	0,2
037/BS/08/2011	39,8	0,5	14,3	0,2
038/CO/08/2011	21,2	0,4	7,6	0,1
039/BG/10/2011	58,2	0,6	21,0	0,2
040/LC/05/2011	55,2	0,6	19,9	0,2
041/VA/07/2011	60,3	0,6	21,7	0,2

042/BS/09/2011	8,2	0,2	2,9	0,1
043/MB/01/2011	25,7	0,4	9,2	0,1
044/BS/10/2011	21,7	0,4	7,8	0,1
045/BS/11/2011	30,8	0,4	11,1	0,2
046/BS/12/2011	47,8	0,6	17,2	0,2
047/BS/13/2011	19,9	0,4	7,2	0,1
048/MB/02/2011	18,7	0,3	6,7	0,1
049/VA/08/2011	25,8	0,4	9,3	0,1
050/VA/09/2011	32,5	0,5	11,7	0,2
051/BS/14/2011	11,7	0,3	4,2	0,1
052/BG/11/2011	14,3	0,3	5,2	0,1
053/BG/12/2011	36,4	0,5	13,1	0,2
054/MI/01/2011	8,0	0,2	2,9	0,1
055/BG/13/2011	28,9	0,4	10,4	0,1
056/MI/02/2011	23,1	0,4	8,3	0,1
057/BS/15/2011	19,2	0,3	6,9	0,1
058/BS/16/2011	23,9	0,4	8,6	0,1
059/BS/17/2011	25,8	0,4	9,3	0,1
060/MI/03/2011	27,1	0,4	9,8	0,2
061/MI/04/2011	52,7	0,6	19,0	0,2
062/MI/05/2011	53,2	0,6	19,2	0,2
063/BS/18/2011	9,0	0,2	3,2	0,1
064/CR/01/2011	19,5	0,4	7,0	0,1
065/BS/19/2011	39,3	0,5	14,1	0,2
066/BS/20/2011	9,5	0,2	3,4	0,1
067/BS/21/2011	10,7	0,3	3,8	0,1
068/BG/14/2011	18,5	0,3	6,7	0,1
069/CR/02/2011	56,1	0,7	20,2	0,3
070/BS/22/2011	21,3	0,3	7,7	0,1
071/MI/06/2011	25,6	0,4	9,2	0,1
072/BS/23/2011	14,6	0,3	5,3	0,1
073/CR/03/2011	10,6	0,2	3,8	0,1
074/BS/24/2011	43,6	0,5	15,7	0,2
075/MN/01/2011	22,3	0,4	8,0	0,1
076/MI/07/2011	19,5	0,3	7,0	0,1
077/MI/08/2011	34,8	0,5	12,5	0,2
078/BS/25/2011	11,3	0,3	4,1	0,1
079/BS/26/2011	11,7	0,3	4,2	0,1
080/MN/02/2011	19,1	0,3	6,9	0,1
081/PV/01/2011	24,6	0,4	8,8	0,2
082/BS/27/2011	9,5	0,2	3,4	0,1
083/BS/28/2011	8,2	0,2	3,0	0,1

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

084/PV/02/2011	7,8	0,2	2,8	0,1
085/PV/03/2011	19,3	0,3	7,0	0,1
086/CR/04/2011	12,3	0,3	4,4	0,1
087/CR/05/2011	12,0	0,2	4,3	0,1
088/BS/29/2011	7,7	0,2	2,8	0,1
089/MN/03/2011	7,8	0,2	2,8	0,1
090/MN/04/2011	18,8	0,4	6,8	0,1
091/MI/09/2011	8,3	0,2	3,0	0,1
092/PV/04/2011	12,7	0,3	4,6	0,1
093/PV/05/2011	10,1	0,3	3,6	0,1
094/BS/30/2011	8,4	0,2	3,0	0,1
095/PV/06/2011	36,5	0,5	13,1	0,2
096/CR/06/2011	7,4	0,2	2,7	0,1
097/BS/31/2011	3,5	0,2	1,2	0,1
098/MN/05/2011	5,3	0,2	1,9	0,1
099/CR/07/2011	9,2	0,2	3,3	0,1
100/MN/06/2011	10,0	0,2	3,6	0,1
101/MN/07/2011	58,2	0,7	21,0	0,2
102/MN/08/2011	7,4	0,2	2,7	0,1
103/PV/07/2011	9,5	0,2	3,4	0,1
104/CR/08/2011	6,7	0,2	2,4	0,1
105/MN/09/2011	12,6	0,3	4,5	0,1
106/PV/08/2011	8,7	0,2	3,1	0,1
107/MN/10/2011	11,2	0,2	4,0	0,1
108/PV/09/2011	8,0	0,2	2,9	0,1
109/MN/11/2011	5,5	0,2	2,0	0,1
110/MN/12/2011	8,4	0,2	3,0	0,1
111/FR/01/2011	6,3	0,2	2,3	0,1
112/PV/10/2001	16,9	0,3	6,1	0,1
113/CR/09/2011	8,5	0,2	3,0	0,1
114/CR/10/2011	10,0	0,2	3,6	0,1
115/PV/11/2011	7,4	0,2	2,7	0,1
116/CR/11/2011	7,4	0,2	2,7	0,1
117/CR/12/2011	6,9	0,2	2,5	0,1
118/CR/13/2011	6,7	0,2	2,4	0,1
119/MN/13/2011	6,0	0,2	2,2	0,1
120/PV/12/2011	7,7	0,2	2,8	0,1
121/MN/14/2011	8,5	0,2	3,1	0,1
122/MN/15/2011	5,7	0,2	2,1	0,1
123/MN/16/2011	6,9	0,2	2,5	0,1
124/MN/17/2011	7,0	0,2	2,5	0,1
125/MN/18/2011	16,5	0,3	5,9	0,1

126/CR/14/2011	8,5	0,2	3,1	0,1
127/MN/19/2011	5,1	0,2	1,8	0,1
128/MN/20/2011	6,9	0,2	2,5	0,1
129/MN/21/2011	8,1	0,2	2,9	0,1
130/MN/22/2011	6,4	0,2	2,3	0,1
131/MN/23/2011	19,1	0,3	6,9	0,1
132/CR/15/2011	8,8	0,2	3,2	0,1
133/MN/24/2011	7,1	0,2	2,5	0,1
134/CR/16/2011	5,6	0,2	2,0	0,1
135/MN/25/2011	9,0	0,2	3,3	0,1
136/MN/26/2011	5,3	0,2	1,9	0,1
137/MN/27/2011	6,3	0,1	2,3	0,0
138/PV/13/2011	5,3	0,2	1,9	0,1
139/MN/28/2011	11,6	0,3	4,2	0,1
140/MN/29/2011	9,3	0,2	3,3	0,1
141/CR/17/2011	4,9	0,2	1,8	0,1
142/MN/30/2011	5,7	0,2	2,1	0,1
143/MN/31/2011	4,6	0,2	1,6	0,1
144/MN/32/2011	5,3	0,2	1,9	0,1
145/PV/14/2011	2,5	0,2	0,9	0,1
146/MN/33/2011	5,6	0,2	2,0	0,1
147/MN/34/2011	7,5	0,2	2,7	0,1
148/MN/35/2011	6,6	0,2	2,4	0,1
149/MN/36/2011	8,4	0,2	3,0	0,1
150/MN/37/2011	6,0	0,2	2,1	0,1
151/PV/15/2011	9,5	0,2	3,4	0,1
152/PV/16/2011	18,9	0,7	6,8	0,3
153/FR/02/2011	22,1	0,4	8,0	0,1
154/PV/17/2011	13,6	0,3	4,9	0,1
155/PV/18/2011	40,1	0,6	14,4	0,2
157/LO/01/2011	14,2	0,3	5,1	0,1
158/LO/02/2011	24,9	0,4	9,0	0,1
159/LO/03/2011	5,8	0,2	2,1	0,1
160/LO/04/2011	15,0	0,3	5,4	0,1
161/LO/05/2011	11,7	0,3	4,2	0,1
162/LO/06/2011	2,4	0,1	0,9	0,1

APPENDICE A.2

Attività di ^{40}K nei campioni di terreno, espressa in Bq/kg di terreno secco $\pm 2\sigma$

Campione	Bq/kg	$\pm 2\sigma$
001/SO/01/2011	704,9	15,9
002/SO/02/2011	497,6	11,8
003/SO/03/2011	557,9	13,0
004/CO/01/2011	726,9	16,6
005/LC/01/2011	919,3	20,5
006/LC/02/2011	907,4	20,2
007/CO/02/2011	754,8	17,2
008/BS/01/2011	566,9	13,3
009/CO/03/2011	436,4	10,6
010/VA/01/2011	686,6	15,9
011/VA/02/2011	476,1	11,6
012/BS/02/2011	895,7	20,1
013/VA/03/2011	628,1	14,6
014/BG/01/2011	1069,1	23,5
015/BS/03/2011	986,5	21,8
018/BG/03/2011	394,0	10,1
019/LC/03/2011	1433,8	30,9
020/CO/05/2011	535,5	13,2
021/BG/04/2011	617,4	14,3
023/CO/06/2011	605,3	14,1
024/BG/06/2011	546,7	12,9
025/BS/04/2011	934,5	20,7
026/BS/05/2011	983,4	21,8
027/LC/04/2011	574,1	13,4
028/CO/07/2011	491,7	11,7
029/BG/07/2011	577,5	13,3
030/BG/08/2011	850,0	19,1
032/VA/04/2011	648,7	15,0
033/VA/05/2011	505,1	12,2
034/VA/06/2011	566,1	13,3
035/BG/09/2011	526,9	12,5
037/BS/08/2011	272,3	7,3
038/CO/08/2011	604,8	14,0
039/BG/10/2011	720,9	16,4
040/LC/05/2011	610,6	14,2
041/VA/07/2011	670,0	15,4

042/BS/09/2011	672,1	15,5
043/MB/01/2011	452,3	11,0
044/BS/10/2011	572,3	13,5
045/BS/11/2011	509,7	12,2
046/BS/12/2011	649,1	15,0
047/BS/13/2011	478,1	11,6
048/MB/02/2011	576,9	13,5
049/VA/08/2011	715,2	16,3
050/VA/09/2011	604,9	14,1
051/BS/14/2011	554,8	13,2
052/BG/11/2011	584,2	13,6
053/BG/12/2011	504,9	12,1
054/MI/01/2011	538,5	12,8
055/BG/13/2011	843,4	18,9
056/MI/02/2011	556,5	13,1
057/BS/15/2011	532,9	12,5
058/BS/16/2011	492,3	11,7
059/BS/17/2011	514,1	12,3
060/MI/03/2011	652,6	15,5
061/MI/04/2011	531,6	12,6
062/MI/05/2011	815,4	18,3
063/BS/18/2011	530,5	12,7
064/CR/01/2011	687,4	16,0
065/BS/19/2011	565,2	13,5
066/BS/20/2011	569,3	13,3
067/BS/21/2011	736,2	16,8
068/BG/14/2011	893,8	20,0
069/CR/02/2011	662,6	15,7
070/BS/22/2011	577,3	13,6
071/MI/06/2011	612,3	14,3
072/BS/23/2011	551,4	13,2
073/CR/03/2011	719,3	16,3
074/BS/24/2011	595,8	13,9
075/MN/01/2011	646,9	15,0
076/MI/07/2011	632,8	14,6
077/MI/08/2011	672,6	15,7
078/BS/25/2011	545,4	12,8
079/BS/26/2011	524,2	12,5
080/MN/02/2011	650,9	15,1
081/PV/01/2011	681,2	15,5
082/BS/27/2011	590,2	13,7

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

083/BS/28/2011	585,3	13,9	124/MN/17/2011	624,1	14,4
084/PV/02/2011	688,2	15,7	125/MN/18/2011	816,1	18,4
085/PV/03/2011	664,3	15,1	126/CR/14/2011	730,4	16,5
086/CR/04/2011	632,0	14,6	127/MN/19/2011	620,7	14,3
087/CR/05/2011	473,3	11,0	128/MN/20/2011	548,3	12,9
088/BS/29/2011	464,4	11,2	129/MN/21/2011	503,5	12,0
089/MN/03/2011	531,2	12,5	130/MN/22/2011	559,2	13,1
090/MN/04/2011	608,5	14,7	131/MN/23/2011	778,9	17,6
091/MI/09/2011	736,4	16,7	132/CR/15/2011	804,6	18,0
092/PV/04/2011	685,6	15,6	133/MN/24/2011	728,1	16,5
093/PV/05/2011	582,6	13,6	134/CR/16/2011	663,1	15,3
094/BS/30/2011	542,5	12,9	135/MN/25/2011	797,6	17,8
095/PV/06/2011	627,7	14,5	136/MN/26/2011	711,3	16,3
096/CR/06/2011	557,4	13,0	137/MN/27/2011	757,9	17,1
097/BS/31/2011	241,8	7,0	138/PV/13/2011	397,4	10,3
098/MN/05/2011	595,4	13,9	139/MN/28/2011	741,6	16,7
099/CR/07/2011	552,3	12,9	140/MN/29/2011	749,5	16,9
100/MN/06/2011	469,7	11,2	141/CR/17/2011	644,5	14,9
101/MN/07/2011	446,6	10,9	142/MN/30/2011	722,1	16,3
102/MN/08/2011	518,4	12,3	143/MN/31/2011	635,6	14,5
103/PV/07/2011	673,9	15,4	144/MN/32/2011	661,4	15,1
104/CR/08/2011	578,7	13,3	145/PV/14/2011	398,9	17,0
105/MN/09/2011	379,9	9,4	146/MN/33/2011	721,2	16,4
106/PV/08/2011	538,1	12,7	147/MN/34/2011	861,9	19,3
107/MN/10/2011	561,5	13,0	148/MN/35/2011	826,8	18,5
108/PV/09/2011	678,1	15,5	149/MN/36/2011	810,7	18,1
109/MN/11/2011	527,2	12,5	150/MN/37/2011	832,1	18,7
110/MN/12/2011	693,4	15,8	151/PV/15/2011	529,7	12,3
111/FR/01/2011	598,6	14,0	152/PV/16/2011	933,1	24,7
112/PV/10/2001	608,1	14,1	153/FR/02/2011	650,5	14,9
113/CR/09/2011	727,4	16,6	154/PV/17/2011	735,6	17,1
114/CR/10/2011	844,8	18,8	155/PV/18/2011	615,5	14,6
115/PV/11/2011	727,2	16,5	157/LO/01/2011	510,0	12,1
116/CR/11/2011	755,6	17,1	158/LO/02/2011	554,8	13,2
117/CR/12/2011	884,2	20,0	159/LO/03/2011	592,8	13,8
118/CR/13/2011	697,4	15,9	160/LO/04/2011	611,9	14,2
119/MN/13/2011	637,4	14,6	161/LO/05/2011	657,4	15,1
120/PV/12/2011	615,2	14,1	162/LO/06/2011	587,2	13,7
121/MN/14/2011	698,5	16,1			
122/MN/15/2011	670,7	15,4			
123/MN/16/2011	430,8	10,5			

BIBLIOGRAFIA

- [1] UNI Ente Italiano di Normazione. Norma UNI 10136: *Determinazione di emettitori gamma in matrici agroalimentari e prodotti derivati*, 1992.
- [2] UNI Ente Italiano di Normazione. Norma UNI 9882: *Determinazione dei principali radionuclidi nel latte*, 1991.
- [3] Schaub M, Konz N, Meusbürger K, Alewell C: Application of in-situ measurement to determine ^{137}Cs in the Swiss Alps. "*Journal of Environmental Radioactivity*", 2010, n. 101, p. 369-376.
- [4] Blagoeva R and Zikovskiy L: Geographic and Vertical Distribution of Cs-137 in Soils in Canada. "*Journal of Environmental Radioactivity*", 1995, vol. 27 n. 3, p. 269-274.
- [5] Bossew P, Ditto M, Falkner T, Henrich E, Kienzl K, Rappelsberger U: Contamination of Austrian soil with caesium-137. "*Journal of Environmental Radioactivity*", 2001, n. 55, p. 187-194.
- [6] Lettner H, Griesebner A, Peer T, Hubner AK, Pintaric M: Altitude dependent ^{137}Cs concentrations in different plant species in alpine agricultural areas. "*Journal of Environmental Radioactivity*", 2006, n. 86, p. 12-30.
- [7] ARPA Lombardia: Rapporto sullo Stato dell'Ambiente in Lombardia. "*Radiazioni ionizzanti: 20 anni dopo Chernobyl*", RSA, Edizione 2006, p. 121-130.
- [8] ARPA Lombardia: Rapporto sullo Stato dell'Ambiente in Lombardia, "*Capitolo 16: Radiazioni ionizzanti*", RSA, Edizione 2003, p. 173-186.
- [9] <http://www.progettohumus.it/>
- [10] Korobova E, Romanov S: Experience of mapping spatial structure of Cs-137 in natural landscape and patterns of its distribution in soil toposequence. "*Journal of Geochemical Exploration*", 2011, n. 109, p. 139-145.
- [11] IAEA: "*Soil sampling for environmental contaminants*", International Atomic Energy Agency, TECDOC-1415, Vienna, October 2004.
- [12] He Q, Walling DE: Calibration of a field-portable gamma detector to obtain in situ measurements of the Cs-137 inventories of cultivated soils and floodplain sediments. "*Applied Radiation and Isotopes*", 2000, n. 52, p. 865-872.
- [13] CRIIRAD (Commission de Recherche et d'Information Indipendantes sur la Radioactivite) et Paris A: *Contaminations radioactives: atlas France et Europe* - Editions Yves Michel, février 2002.
- [14] Agnesod G, Operti C, Zappa C, Capodaglio P: Distribuzione comparata di Cesio-137 in diverse matrici ambientali sul territorio della Valle d'Aosta. In: *ARPA Valle d'Aosta – Sezione Agenti Fisici*, 2006, Loc. Grande Charrière 44, 11020 Saint Christophe (AO).
- [15] Bunzl K, Albers BP, Schimmack W, Belli M, Ciuffo L, Menegon S: Examination of a relationship between ^{137}Cs concentrations in soils and plants from alpine pastures. "*Journal of Environmental Radioactivity*", 2000, n. 48, p. 145-158.
- [16] Serra O: *Natural Gamma-ray Spectrometry, Fundamentals of Well-log Interpretation - the Acquisition of Logging Data*, Elsevier, 1984.
- [17] Dierke C, Werban U: Relationships between gamma-ray data and soil properties at an agricultural test site. "*Geoderma*", 2013, n. 199, p. 90-98.
- [18] McAulay IR, Moran D: Natural radioactivity in soil in the republic of Ireland. "*Radiation Protection Dosimetry*", 1988, n. 24, p. 47-49.
- [19] Dos Santos José AJ, Ferreira Cardoso JJR, da Silva CM, Vita Silveira S, dos Santos Amaral R: Analysis of the ^{40}K Levels in Soil using Gamma Spectrometry, "*Brazilian Archives of Biology and Technology*", 2005, n. 48, Special: p. 221-228, ISSN 1516-8913, Printed in Brazil.
- [20] Lettner H, Andrasi A, Hubner AK, Lovranich E, Steger F, Zombori P: In situ gamma-spectrometry intercomparison exercise in Salzburg, Austria. "*Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*", 1996, n. A 369, p. 547-551.
- [21] Narayana Y, Somashekarappa HM, Karunakara N, Avadhani DN, Mahesh HM, Siddappa K: Natural radioactivity in the soil samples of coastal Karnataka of South India. "*Health Physics*", 2001.
- [22] Sroora, El-Bahia SM, Ahmedb F, Abdel-Haleemc AS: Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. "*Applied Radiation and Isotopes*", 2001, n.55, Issue 6, p. 873-879.

Capitolo III: Campioni di muschio come indicatori della deposizione atmosferica di elementi potenzialmente tossici

L'uso di bioindicatori per monitorare le condizioni ambientali è ormai uno strumento analitico necessario da affiancare alle classiche analisi di routine. In questo caso sono stati utilizzati campioni di muschio e del relativo terreno circostante raccolti in 40 punti georeferenziati della Regione Lombardia. La preparazione scrupolosa dei campioni e le successive analisi svolte, hanno permesso di ricavare due indicatori utili alla stima sia delle ricadute atmosferiche annue degli elementi indagati che la loro origine. In questo modo è possibile individuare le aree maggiormente colpite dalla deposizione di Elementi Potenzialmente Tossici (EPT) derivanti da attività antropiche, per poter eventualmente ricercare idonei provvedimenti.

1. Introduzione

Le ricadute atmosferiche di elementi quali i metalli pesanti, elementi in ultratracce (platino, palladio e rodio) e composti organici persistenti, possono essere stimate direttamente sull'aria, oppure su campioni di terreno superficiale. Lo scopo di questo lavoro era invece quello di determinare le deposizioni atmosferiche di Elementi Potenzialmente Tossici (EPT) nell'intero territorio della Regione Lombardia, mediante l'aiuto di campioni di muschio quali indicatori biologici.

Questa tecnica è stata utilizzata più volte in passato: Rühling and Tyler, 1968 [1]; Ross (1990) [2]; Berg et al. (1995) [3]; Berg and Steinnes (1997) [4]; Cenci (2006 e 2007) [5,6]; Harmens et al. (2008) [7] ne sono un esempio. In tutti questi lavori viene dimostrato che l'uso di muschi quali stimatori delle deposizioni atmosferiche su scala regionale e locale, si rivela una tecnica appropriata. La ragione di questa affermazione risiede sostanzialmente nella natura dei muschi. Questi organismi infatti non sono dotati di apparato radicale né di una cuticola ben sviluppata, ragione per cui sono totalmente dipendenti dall'atmosfera per l'assorbimento dei nutrienti, assieme ai quali vengono introdotti anche i contaminanti, adsorbimento che avviene attraverso tutta la loro superficie a causa della mancanza di tessuti di conduzione legnosi [5,8].

Essi sono in grado di portare in soluzione ed utilizzare gli elementi provenienti dalle deposizioni secche ed umide [9].

La capacità di scambio cationico nei muschi è molto elevata e possiedono un alto rapporto superficie/volume che favorisce l'accumulo di inquinanti come metalli e complessi di metalli [11,12].

Ovviamente solo una parte della concentrazione totale degli elementi indagati deriva dalla deposizione atmosferica. Il trasporto da parte del vento di particelle di suolo, per esempio, può comportare l'ingresso di elementi negli organismi. Anche la presenza di manto nevoso ed il suo successivo scioglimento possono favorire l'assorbimento di elementi non derivanti dalla deposizione atmosferica [9].

Altra caratteristica a favore dell'utilizzo dei muschi quali bioindicatori è il fatto di essere sempreverdi e perenni, particolare che permette la loro raccolta in tutti i periodi dell'anno.

È importante sottolineare che l'uso di muschi permette una integrazione della concentrazione e non una stima di quella reale.

La Commissione Europea ha messo a punto le linee guida per l'utilizzo dei muschi per valutare le ricadute al suolo di elementi inorganici persistenti e di composti organici [10].

2. Materiali e metodi

2.1 La scelta dei punti ed il campionamento

Il numero totale di campioni di muschio raccolti è 40. L'intento era quello di predisporre una griglia di campionamento che permettesse la copertura dell'intero territorio regionale, associando ad ogni campione di muschio un campione di suolo raccolto durante la prima fase del progetto. Anche in questo caso, le aree prese in considerazione erano quelle a vocazione prevalentemente agricola.

L'abbinamento suolo-muschio permette di ottenere informazioni circa il fattore di arricchimento e quindi valutare l'origine delle ricadute, discriminando quelle naturali da quelle antropiche. La Figura 1 ne

rappresenta la disposizione progettata prima della raccolta.

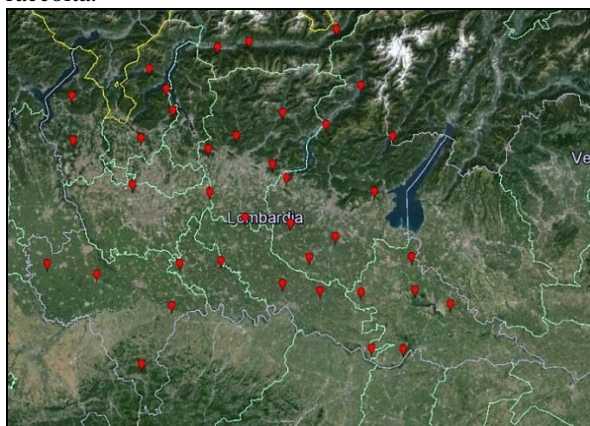


Figura 1. Reticolo per la raccolta dei campioni di muschio

Anche nel caso dei muschi, per i punti selezionati sono state ricavate le coordinate geografiche secondo il sistema WGS 84 (World Geodetic System 1984).

2.2 Il campionamento

La raccolta dei muschi e del suolo ha visto l'applicazione di quanto previsto dalle linee guida [10]. Essa doveva avvenire ad almeno 300 m di distanza da strade con alto carico di traffico ed aree popolate, e ad almeno 100 m da ogni singola casa, e per quanto più possibile in spazi sgombri dalla presenza di alberi [13]. Una volta giunti sul posto selezionato a priori ed individuato il campione adatto alla raccolta, sono state registrate le coordinate effettive. Anche per i campioni di muschio sono state compilate schede di campionamento, nelle quali sono state riportate tutte le informazioni relative al contesto e le foto scattate al momento della raccolta, oltre a quelle ottenute dal riconoscimento fatto al microscopio. Oltre ai muschi sono stati prelevati anche i relativi campioni di terreno superficiale.

2.3 La preparazione dei campioni

Una volta giunti in laboratorio i campioni di muschio sono stati accuratamente ripuliti con l'aiuto di pinze dai residui di terreno. Dopo di che sono stati sciacquati con acqua Milli-Q Millipore $18.2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$ e posti ad essiccare in stufa, ad una temperatura massima di 40°C , assieme ad i relativi campioni di terreno.

Una volta essiccati sono stati macinati mediante l'uso di un mulino planetario Micro Mill pulverisette 7 classic line (Fritsch), con sfere e giare di agata.

Per la quantificazione degli elementi di nostro interesse si è proceduto alla digestione dei campioni, pesandone un quantitativo di 0,5 g e ponendoli a contatto con una miscela costituita da 5 mL di HNO_3 (65% Carlo Erba, suprapuro), 1 mL di H_2O_2 (30% suprapur Merck) e 200 μL di HF (47-51% Fluka). Per i terreni è stato pesato lo stesso quantitativo, ma la mineralizzazione è stata effettuata con acqua regia (7,5 mL HCl 37% suprapuro

Carlo Erba e 2,5 mL HNO_3 65% Carlo Erba suprapuro).

Per la digestione è stato usato il blocco di grafite DigiPREP Jr., ad una temperatura di 95°C per 120 min.

2.4 La quantificazione degli elementi potenzialmente tossici (EPT)

Gli elementi indagati sui campioni di muschi e terreno erano: alluminio, antimonio, arsenico, berillio, cadmio, cobalto, cromo, manganese, mercurio, molibdeno, nichel, piombo, selenio, rame, stagno, tallio, vanadio e zinco.

Gli strumenti utilizzati per le quantificazioni sono: ICP-MS Agilent 7700, ICP-OES Perkin Elmer Optima 2100 DV e l'analizzatore di mercurio ad assorbimento atomico AMA 254.

I certificati utilizzati per verificare la precisione delle analisi sono: CRM BCR 141 R (calcareous loam soil) per i terreni e BCR 482 (trace element in lichen) per i muschi.

3. Risultati

3.1 Contenuto degli EPT nei muschi

Dalle analisi eseguite abbiamo ottenuto il quantitativo pseudo totale degli elementi indagati, nei suoli e nei muschi. Il recupero ottenuto sui certificati per i diversi elementi indagati è compreso tra 89% e 100%.

Tabella 1: Concentrazioni (mg kg^{-1}) di alcuni elementi indagati e confronto con altri lavori

mg kg^{-1}	media	Dev st	mediana	min	max	95° perc	99° perc
Be	0,33	0,29	0,24	0,03	1,06	0,89	1,04
V	11,6	9,2	10,6	0,41	44	27	37
Cr	15,4	14,9	12,1	1,83	78	41	68
Co	1,77	1,59	1,55	0,23	8,9	4,1	7,6
Ni	9,4	9,8	6,5	1,63	54	28	45
Cu	23	22	15,9	7,3	114	63	107
Zn	78	49	64	31	252	185	251
As	2,4	2,1	1,70	0,21	8,4	6,7	7,9
Se	0,23	0,13	0,19	0,09	0,53	0,48	0,52
Mo	0,71	0,60	0,53	0,21	2,9	2,1	2,6
Cd	0,50	0,91	0,28	0,08	5,8	1,39	4,2
Sn	0,87	0,54	0,77	0,02	2,3	1,77	2,2
Sb	0,44	0,30	0,35	0,06	1,26	1,10	1,24
Tl	0,14	0,11	0,13	0,01	0,48	0,33	0,43
Pb	11,0	8,3	9,8	1,4	35,9	25,1	35,5
Al	8852	10839	3911	109	39753	32313	38527
Mn	190	228	127	34	1178	437	1111
Hg	0,08	0,03	0,07	0,04	0,15	0,13	0,14

Tabella 2: Confronto fra i valori medi delle concentrazioni di alcuni elementi (mg kg^{-1}) in studi a livello nazionale, regionale e locale [5,14,16]

mg kg^{-1}	Harmens 2010	Soil Mapping 2014	Cenci 2006	ARPAV 2007
As	0,46	1,7	-	0,86
Cd	0,12	0,28	0,51	0,19
Cr	3,41	10,05	0,83	3,75
Cu	10,9	15,9	12	11,75
Hg	0,072	0,07	0,09	<0,02
Ni	2,92	6,5	1,6	3,6
Pb	6,05	9,8	29	6,05
V	2,87	10,6	2,5	4,5
Zn	33,2	64	111	45,5

Il quadro generale delle concentrazioni ottenuto attraverso l'analisi dei muschi non evidenzia differenze per quanto riguarda il raffronto con altri studi condotti in regione e in altre aree italiane ed europee. Ovviamente risultano in alcune ristrette aree valori significativamente più elevati dovuti alla presenza di attività industriali che condizionano la concentrazione riscontrata nei muschi.

Poche sono le situazioni che vale la pena segnalare; per esempio il vanadio ha ottenuto un picco di concentrazione pari a 44 mg kg^{-1} nei pressi di Adro (BS); cromo (68 mg kg^{-1}) e nichel (54 mg kg^{-1}) nell'area in corrispondenza del campione m04; il rame nella zona di Sondrio (m40), con una concentrazione di 114 mg kg^{-1} . Per lo zinco l'unico valore anomalo è stato riscontrato in m17 con 248 mg kg^{-1} .

Per il cadmio il valore medio è pari a $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$, con una distribuzione omogenea ed un valore massimo di $5,7 \text{ mg kg}^{-1}$ appartenente al campione m10. Tale risultato è sovrapponibile con quanto riscontrato da uno studio condotti nei parchi romani nel 2008 [17], anche per quanto riguarda i valori ottenuti per zinco (78 mg kg^{-1}) e vanadio ($11,6 \text{ mg kg}^{-1}$).

Il piombo ha ottenuto un valore medio di 36 mg kg^{-1} , con un massimo di 130 mg kg^{-1} riscontrato nell'area già nota relativa al campione m21, nei pressi di Adro. Il valore medio è in accordo con numerose ricerche, tra le quali quella condotta da RM Cenci et al. nel 2005, nei pressi del transetto autostradale Varese-Milano [18].

Anche per il mercurio il valore ottenuto come media è sovrapponibile con quanto sopra.

La Tabella 3 riporta un ulteriore confronto dei dati ottenuti in questo lavoro, con altri già pubblicati.

3.2 Il fattore di arricchimento (F.A.)

Il calcolo dell'F.A. permette di distinguere l'origine atmosferica o terrigena degli elementi quantificati nei campioni di muschio.

Per quanto la pulizia iniziale del muschio dal terreno possa essere accurata, è possibile che particelle di esso siano ancora presenti al momento della digestione dei campioni. Questo è il motivo per cui è stato quantificato anche il contenuto di alluminio. Tale elemento viene infatti considerato prettamente di origine terrigena, data la sua abbondanza nei terreni (altro elemento spesso usato in questi termini è il bario).

Il calcolo del fattore di arricchimento passa quindi attraverso la normalizzazione della concentrazione di ogni elemento per quella di alluminio, fatta sia per il contenuto nel muschio, che per quello del relativo terreno. La formula applicata è la seguente:

$$F.A. = \frac{\frac{[Met]m}{[Al]m}}{\frac{[Met]s}{[Al]s}}$$

Se il valore ottenuto è superiore a 10 [6] è possibile che le concentrazioni dell'elemento riscontrate nel muschio siano prevalentemente imputabili all'attività antropica.

Per tutti gli elementi analizzati la stragrande maggioranza delle ricadute è da ritenersi di origine naturale, con alcune eccezioni. È il caso per esempio del mercurio, per il quale la maggior parte dei valori ottenuti supera il fattore 10. Questo aspetto è dovuto alla presenza della quasi totalità del mercurio nell'aria. Esperienze passate hanno evidenziato come le ricadute al suolo di mercurio siano pressoché costanti, sia in aree antropizzate che pseudo naturali.

In un numero ristretto di aree, e solo per alcuni elementi, il F.A. è superiore a 10. Per questo la provenienza dei relativi elementi è riferibile potenzialmente ad attività antropiche.

Per quanto riguarda il molibdeno, in alcune aree il F.A. è superiore a 10, quindi prevalentemente di origine antropica. Va comunque detto che potrebbe esserci un passaggio dell'elemento dal suolo verso il muschio. In un numero molto ristretto di aree zinco e cadmio evidenziano una ricaduta di origine antropica. Tale aspetto può essere giustificato dalla presenza di pali del trasporto di corrente elettrica e nell'uso di fanghi di depurazione in ambito agricolo. Ovviamente per confermare tale ipotesi occorrerebbe un'ulteriore indagine più approfondita.

Resta da indagare un'area (m25), dove tutti gli elementi presentano un F.A. maggiore di 10. Anche l'arsenico, nonostante il fattore sia pari a 7, è significativamente superiore al resto dei valori trovati (1-2 valori di magnitudo).

Tabella 3: Fattori di Arricchimento ottenuti per i nostri campioni di muschio

	media	50° perc	min	max	75° perc	95° perc	n° FA>10
Be	1,80	0,87	0,44	11	1,40	8,5	1
V	1,81	0,90	0,01	15	1,49	6,6	1
Cr	2,2	0,94	0,11	28	1,46	8,7	1
Co	1,19	0,45	0,11	13,8	0,66	5,3	2
Ni	1,94	0,78	0,06	26	1,07	10,6	3
Cu	5,7	1,83	0,30	51	3,33	32	4
Zn	7,1	2,2	0,23	96	4,86	30	5
As	0,79	0,41	0,16	6,6	0,59	3,4	0
Se	3,45	1,20	0,35	32	1,86	26	3
Mo	14,8	4,73	0,07	129	13,49	71	13
Cd	10,7	3,0	0,41	185	6,86	30	7
Sn	3,7	1,18	0,22	61	3,35	10,2	2
Sb	5,7	1,05	0,09	70	2,02	47	3
Tl	3,2	1,42	0,49	34	2,11	8,0	2
Pb	1,76	0,70	0,13	14,8	1,42	9,6	3
Mn	3,7	0,81	0,16	81	1,27	14,6	3
Hg	10,8	10,37	2,87	23	14,00	20,5	21

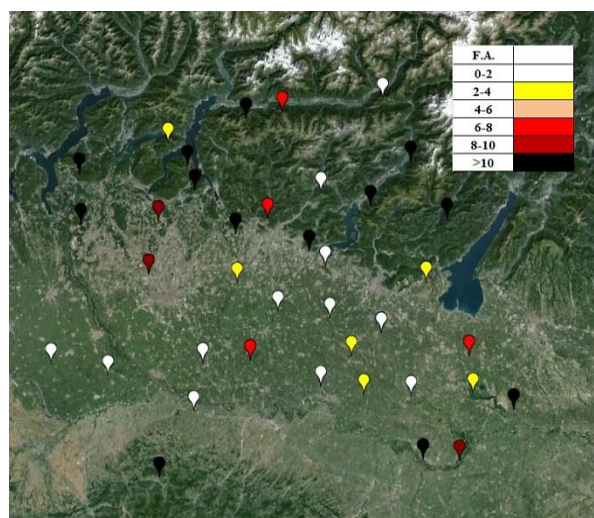


Figura 2. Fattore di Arricchimento per il molibdeno

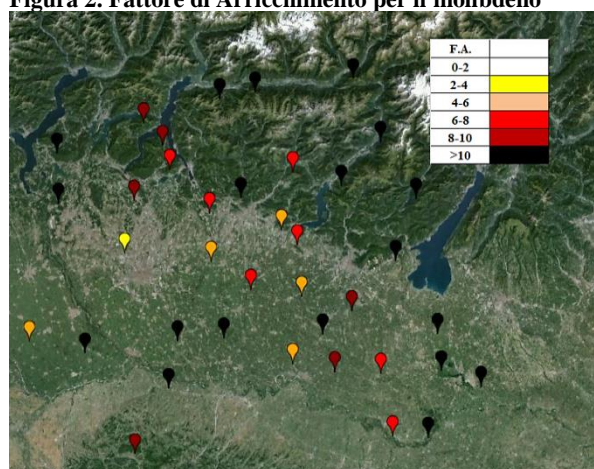


Figura 3. Fattore di Arricchimento per il mercurio

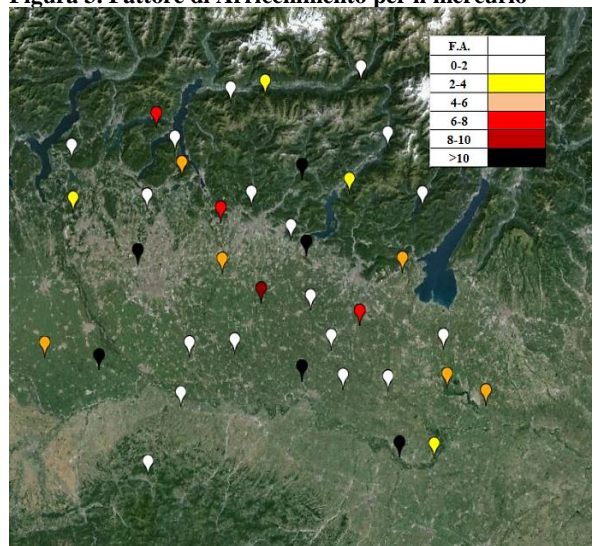


Figura 4. Fattore di Arricchimento per il cadmio

3.3 Il Rateo di Deposizione (R.D.)

Per Rateo di Deposizione si intende la massa di elemento (mg) che si deposita al suolo (e sui muschi) per unità di area (m^2) nell'unità di tempo (anni). Tale calcolo necessita la conoscenza del tempo di esposizione dei campioni di muschio e del fattore di efficienza (F.E.) per i diversi elementi, ovvero quanta parte della concentrazione di metallo che si deposita viene effettivamente legata ai tessuti dei muschi (Tabella 5). I metalli subiscono una traslocazione minima all'interno dell'organismo, a causa della mancanza di tessuto vascolare [1]. Di conseguenza, l'analisi dei caulidi rivela la deposizione degli elementi legata al tempo di esposizione.

Al fine di determinare le ricadute atmosferiche annue dovute probabilmente attività antropica, abbiamo preso in considerazione solo gli elementi ed i campioni per cui il fattore di arricchimento era superiore a 10.

Gli elementi per cui si è ottenuto il maggior numero di campioni con F.A. >10 sono il mercurio (n=21) e il molibdeno (n=11). In questi casi il Rateo di Deposizione variava da 0,010 a 0,078 $\text{mg m}^{-2} \text{anno}^{-1}$ per il mercurio e da 0,07 a 0,94 $\text{mg m}^{-2} \text{anno}^{-1}$ per il molibdeno. Per il cadmio sei campioni hanno mostrato un R.D. che oscillava tra 0,03 e 4,30 $\text{mg m}^{-2} \text{anno}^{-1}$. Per rame e zinco il rateo è stato calcolato solo su 4 campioni, ma in questo caso le deposizioni erano più consistenti, essendo comprese tra 3,31 e 44 $\text{mg m}^{-2} \text{anno}^{-1}$ nel caso del rame, e 15 e 17,67 $\text{mg m}^{-2} \text{anno}^{-1}$ per lo zinco. Cobalto (n=2) e nichel (n=3) hanno mostrato un rateo compreso tra 0,2 e 0,88 $\text{mg m}^{-2} \text{anno}^{-1}$; per il cromo un solo campione ha evidenziato un valore di 1,48 $\text{mg m}^{-2} \text{anno}^{-1}$, mentre per il piombo in due casi le deposizioni erano pari a 0,79 e 2,11 $\text{mg m}^{-2} \text{anno}^{-1}$.

Tabella 4: Fattori di Efficienza per diversi metalli

	F.E.	
Pb	100%	**
Cd	67%	**
Cr	62%	**
Cu	55%	**
Ni	81%	**
Zn	70%	**
V	54%	*
Hg	50%	***
As	25%	*
Co	60%	*
Mo	60%	*

*[15]

**[5]

*** Ruhling 1994

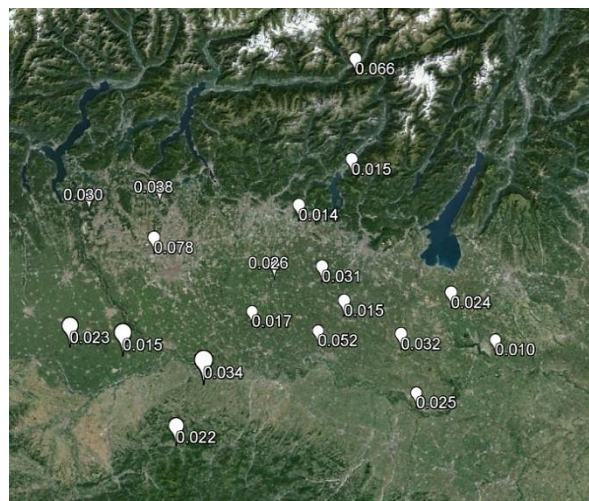


Figura 5. Rateo di Deposizione per il mercurio.

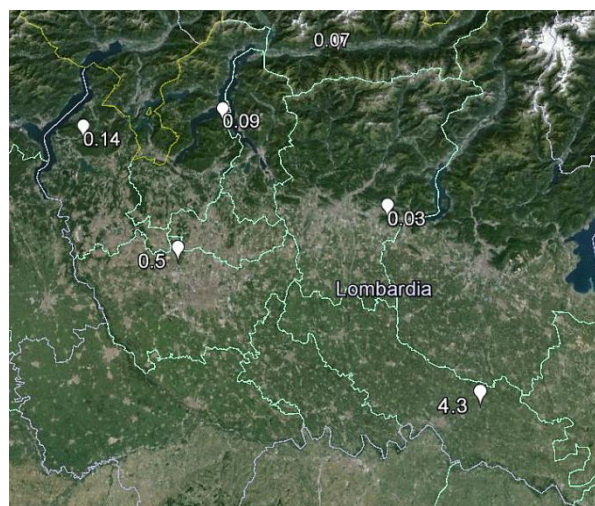


Figura 6. Rateo di Deposizione per il cadmio.

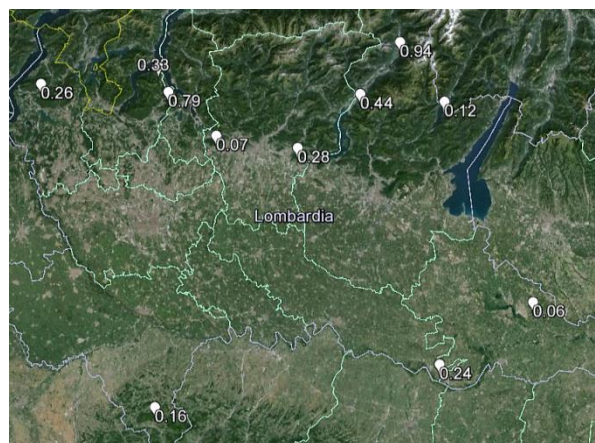


Figura 7. Rateo di Deposizione per il molibdeno.

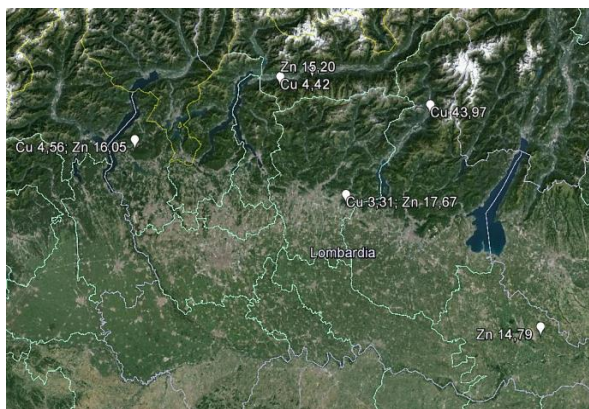


Figura 8. Rateo di Deposizione per il rame e lo zinco.

Analizzando invece in maniera generale il rateo di deposizione, prendendo cioè in considerazione tutti i campioni a nostra disposizione, si può affermare che i valori riscontrati presentano una discreta uniformità nel loro insieme. Analizzando elemento per elemento si può osservare come il RD per il Pb, per l'intera regione, abbia un valore pari a 2,9 ($30 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$). Tale valore è in accordo con quanto riscontrato in provincia di Pavia, inferiore alla Sicilia, e inferiore rispetto a numerose nazioni europee, quali Germania, Olanda e Polonia.

Nell'insieme sono state riscontrate tre aree dove il rateo è superiore in modo significativo al valore medio. Per quanto riguarda il valore più elevato, pari a $17,9 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$, è stato evidenziato nell'area di Brescia, ad Adro. Nel caso specifico anche gli altri elementi presentano valori alquanto elevati. Questo aspetto potrebbe essere dovuto alle attività industriali presenti in zona.

Per il Cd una sola area (m10, Cremona) ha un valore significativamente più elevato ($4,3 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$) contro una media di $0,25 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ (tutta Lombardia). I restanti valori del RD sono in totale accordo con quanto riscontrato nella provincia di Pavia, e in altre aree italiane quali la Sicilia, e l'Austria.

Per il cromo il valore medio è $5,7 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. Si può osservare una disomogeneità nella ricaduta al suolo in quanto alcune aree presentano valori significativamente superiori al valore medio. Tale aspetto può essere giustificato con la presenza nelle vicinanze di attività industriali/antropiche.

Un raffronto con valori in bibliografia evidenzia come i ratei siano più ridotti, sia per quanto riguarda la Sicilia o aree industrializzate come Parona (PV). Un valore simile a quello medio è stato riscontrato a Castel Ponziano [19].

Per il rame il valore medio è $11,9 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$, ma la buona parte delle aree indagate presentano valori attorno al $2-4 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. Si osservano quattro aree i cui R.D. sono significativamente superiori, in particolare m40 con un valore pari a $103 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. Le due aree hanno un utilizzo a frutteto.

Per il nichel il valore medio è $3,1 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. I valori osservati sono omogenei in tutta la regione e sono sovrapponibili a quanto riscontrato in provincia di

Pavia e in alcune nazioni quali Germania, Olanda, Polonia, Regno Unito e Svizzera. Solamente tre aree presentano valori significativamente più elevati. Tale aspetto può essere dovuto ad attività locali.

Per lo zinco il valore medio è $28,6 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$; vi è una discreta uniformità nelle ricadute, ad eccezione della zona M08, il cui valore è il più elevato ($180 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$); si segnala anche i campioni m21,28 e 29 i cui valori sono significativamente superiori al medio. Un raffronto con altre ricerche italiane ed europee evidenzia come le ricadute qui riscontrate siano paragonabili.

La distribuzione dell'arsenico appare uniforme, il valore medio è $2,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. Poche sono le aree dove le concentrazioni superano il valore $10 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. Una ricerca effettuata a Giussago (PV) ha dato un valore leggermente inferiore al medio qui riscontrato.

Per il cobalto le ricadute evidenziano una distribuzione alquanto omogenea, la stragrande maggioranza è inferiore all'unità, con un valore medio pari a $0,85 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. Fa eccezione il campione m21 (Adro).

Per il molibdeno non vi sono dati in bibliografia. Le ricadute in regione sono risultate monotone e di ridotta intensità. Il valore medio è pari a $0,27 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. Questo dimostra che l'uso di questo elemento è scarso e ben distribuito in atmosfera.

Per il vanadio il valore medio è $5,7 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ con una distribuzione omogenea sulla regione, anche in questo caso vale quanto detto per altri elementi. I valori più elevati si riscontrano in altre aree, con m08 e m09 circa $24 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$, e m 21 con il valore più elevato pari a $40,6 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. Tali valori elevati possono essere imputabili ad attività antropiche locali.

Il mercurio come già accennato in precedenza si trova prevalentemente in atmosfera e le ricadute sono pressoché costanti su tutta la Lombardia. Il valore medio è $0,04 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$; unica eccezione viene dall'area ormai nota m08 con $0,1 \text{ mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. Tale aspetto è legato ad altri elementi quali vanadio, arsenico, zinco, nichel, rame cromo e piombo, che denotano e confermano presenza di molteplici attività industriali.

4. Conclusioni

L'uso dei muschi quali bioindicatori per valutare la distribuzione spaziale degli elementi, in termini di Rateo di Deposizione e di Fattore di Arricchimento, non hanno evidenziato particolari anomalie. Inoltre i valori riscontrati sono in linea con numerose ricerche espletate a livello regionale nazionale ed internazionale.

I pochi valori "anomali" presenti sono dovuti prevalentemente ad attività antropiche locali che incidono in modo significativo nel modificare la concentrazione o il R.D. o il F.A.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ruhling A, Tyler G. An ecological approach to the lead problem. *"Botaniska Notiser"*, 1968, n°122, p. 248–342.
- [2] Ross HB. On the use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for estimating atmospheric trace metal deposition. *"Water, Air, and Soil Pollution"*, 1990, n°50, p. 63–76.
- [3] Berg T, Royset O, and Steinnes E. Moss (*Hylocomium splendens*) used as a biomonitor of atmospheric trace element deposition: estimation of uptake efficiencies. *"Atmospheric Environment"*, 1995, n°3, p. 353–360.
- [4] Berg T, Steinnes E. Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values. *"Environmental Pollution"*, 1997, n° 98, p. 61–71.
- [5] Cenci RM, Leva F, Bianchi M: *Provincia di Varese e CCR di Ispra: Flussi di ricaduta di metalli pesanti valutati mediante muschi e suoli*. 2006.
- [6] Cenci RM: *Linee guida per l'utilizzo di muschi indigeni, muschi trapiantati e suoli per valutare le ricadute di contaminanti organici e inorganici*. EUR 23025 IT , 2007.
- [7] Harmens H, Norris D, the participants of the moss survey: *Spatial and Temporal Trends in Heavy Metal Accumulation in Mosses in Europe (1990–2005)*. Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation. Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, 51 pages, 2008a.
- [8] Uyar G, Ören M and Ince M. Atmospheric heavy metal deposition in Duzce province by using mosses as biomonitors. *"Fresenius Environmental Bulletin"*. By PSP N° 2, 2007.
- [9] Steinnes E: A critical evaluation of the use of naturally growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals. *"The Science of the Total Environment"*. 1995, N° 160/161, p. 243–249.
- [10] R. M. Cenci (2008). Guidelines for the use of native mosses, transplanted mosses and soils in assessing organic and inorganic contaminant fallout. EUR 23292 EN. ISBN 978-92-79-08719-6. ISSN 1018-5593. 35 pp.
- [11] Fernandez JA, Ederra A, Nunez E, Martinez-Abaigar J, Infante M, Heras P, Elias MJ, Mazimpaka V, Carballeira A: Biomonitoring of metal deposition in northern Spain by moss analysis . *"The Science of the Total Environment"*. 2002, n° 300, p.115–127.
- [12] Schilling JS, Lehman ME: Bioindication of atmospheric heavy metal deposition in the Southeastern US using the moss *Thuidium delicatulum* . *"Atmospheric Environment"*. 2002, n° 36, p.1611–1618.
- [13] Schröder W, Pesch R, Hertel A, Schonrock S, Harmens H, Mills G , Ilyin I: Correlation between atmospheric deposition of Cd, Hg and Pb and their concentrations in mosses specified for ecological land classes covering Europe. *"Atmospheric Pollution Research"*. 2013, n°4, p.267–274.
- [14] Miani N, Skert N, Grahonja R, Valic I, Abatangelo A, Asquini T: *Monitoraggio sperimentale delle ricadute al suolo nella Provincia Trieste di metalli in traccia tramite muschi come bioaccumulatori* . Relazione finale , (ARPAV), 2007.
- [15] Zechmeister H, Riss A, Hanaus-Illnar A: Biomonitoring of Atmospheric Heavy Metal Deposition by Mosses in the Vicinity of Industrial Sites. *"Journal of Atmospheric Chemistry"*, 2004, n°49, p. 461–477.
- [16] Harmens H, Norris DA, Steinnes E, Kubin E, Piispanen J, Alber R, Aleksiyenak Y, Blum O, Coskun M, Damh M, De Temmerman L, Fernández JA, Frolova M, Frontasyeva M, González-Miqueom L, Grodzinska K, Jeran Z, Korzekwa S, Krmar M, Kvietkus K, Leblond S, Liiv S, Magnússon SH, Mankovská B, Pesch R, Rühling Å, Santamariam JM, Schröder W, Spiric Z, Suchara I, Thöni L, Urumov V, Yurukova L, Zechmeister dd HG: Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: Spatial patterns and temporal trends in Europe. *"Environmental Pollution"*. 2010, n°158, p.3144–3156.
- [17] R. M. Cenci, D. Dabergami, E. Beccaloni, G. Ziemacki, A. Benedetti, L. Pompili, A. S. Mellina, M. Bianchi (2008). Bioindicatori per valutare la qualità dei suoli di alcuni parchi della città di Roma EUR 23567 IT ISSN 1018-5593 ISBN: 978-92-79-10648-4. 31 pp.
- [18] R. M. Cenci, C. Barbante, J. Lintelmann, C. Capodoglio, G. Cattaneo e M. Zavettore. (2005). Transetti autostradali: elementi in traccia e contaminanti organici (IPA) valutati mediante muschi e suoli superficiali. Bollettino della Società Italiana della scienza del Suolo. 54 (1-2); 56-61 pp.
- [19] L Barilli , P Olivieri, M Cecchini, L Aromolo, V di Carlo, R francaviglia, L Gataleta. (1999). Heavy Metals determination in dry surrogate depositions. Characterization of fan urban and a natural site. *Annali di chimica* (89): 739-746 pp.

Capitolo IV: Analisi di PCDDs, PCDFs, PCBs, PBDEs e OCPs in suoli superficiali della Lombardia

Il Progetto di monitoraggio ambientale interessa tutto il territorio della Regione Lombardia e prevede un approccio multidisciplinare chimico, fisico e biologico allo scopo di ottenere dati utili per definire una politica integrata del territorio, per garantire e sostenere la qualità del suolo e permettere la messa in atto di strategie di prevenzione e protezione dall'inquinamento.

In questa indagine sono stati considerati suoli superficiali presenti sul territorio della Regione Lombardia che sono adibiti prevalentemente ad uso agricolo.

In una prima fase, su un'area di 23834 km², è stata effettuata una rete di campionamento complessiva di 156 singoli campioni di suolo. Sulla base del contenuto di Mercurio misurato in questi campioni, si è deciso di effettuare dei campioni compositi rappresentativi di 39 aree differenti, sui quali successivamente sono stati determinati i contaminanti organici come diossine, furani, PCBs, PBDEs e pesticidi organoclorurati.

In questi suoli compositi le concentrazioni di Diossine e PCBs sono sotto i limiti soglia per l'utilizzo del Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale indicati nel decreto D.L. 152 del 2006. Le analisi dei pesticidi clorurati hanno evidenziato 3 aree che mostravano livelli superiori al limite consentito per l'utilizzo del Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. I PBDEs non sono normati nel D.L. numero 152 del 2006.

1. Introduzione

1.1 Descrizione del progetto

Il Progetto di monitoraggio ambientale su tutto il territorio della Regione Lombardia ha adottato un approccio multidisciplinare chimico, fisico e biologico per ottenere dati utili per definire una politica integrata del territorio, al fine di garantire e sostenere la qualità del suolo e permettere la messa in atto di strategie di prevenzione e protezione dall'inquinamento.

L'area da indagare è rappresentata dal territorio della Regione Lombardia, essa ha una superficie di circa 23.834 km². Sono escluse dall'indagine le aree montane.

Nella **prima fase** sono stati raccolti 156 campioni (rete di monitoraggio LUCAS) di suolo superficiale il cui spessore sarà compreso tra 0 e 30 cm. La motivazione della scelta di tale profondità è legata prevalentemente alle pratiche agricole che interessano gran parte del territorio lombardo e incidono in modo significativo nei primi 30 centimetri di suolo.

Riguardo le determinazioni dei contaminanti organici (diossine, furani, PCBs, PBDEs, pesticidi organoclorurati), i campioni di suolo superficiale sono stati riuniti su base dei risultati del Mercurio e ciascun gruppo è stato formato da circa 4 campioni per ottenere campioni "compositi". Nel caso in cui in questi campioni compositi risultassero alte concentrazioni, i campioni singoli venivano analizzati singolarmente.

1.2 Area investigata

L'estensione dell'area indagata è di 23834 km². Il numero di punti inizialmente individuato era 156, la maggior parte dei quali ricadeva nelle zone pianeggianti della Regione. La scelta dei siti è stata fatta mediante un sistema informatico messo a punto dal CCR di Ispra in cui era possibile inserire alcune informazioni; ne è un esempio la destinazione d'uso dei suoli che permette di focalizzare l'attenzione sui terreni implicati nelle attività umane, quelli che interagiscono con la salute. Sono stati quindi in prevalenza i suoli agricoli ad essere sottoposti alla nostra attenzione.

1.3 Campionamento

I punti sono stati individuati e raggiunti tramite le loro coordinate GPS; qualora il singolo punto in questione ricadeva in una zona inaccessibile, il terreno veniva raccolto ad una certa distanza opportunamente registrata, segnando le nuove coordinate.

Lo strato di suolo prelevato mediante trivella era compreso tra 0 e 30 cm, la fascia interessata dalle lavorazioni agricole e quindi recante gli elementi che potenzialmente interagiscono con l'uomo.

Il terreno raccolto veniva omogeneizzato per le analisi e posto in un barattolo di vetro schermato con carta stagnola per le analisi degli inquinanti organici.

Per una descrizione dettagliata della locazione dei singoli siti di campionamento si rimanda al paragrafo 1.1 del Capitolo I, "Monitoraggio chimico-fisico su tutto il territorio della Regione Lombardia"

1.4 Parametri utilizzati per la definizione dei campioni compositi

Per i campioni i seguenti parametri agronomici, analisi chimiche, fisiche e radiochimiche realizzata presso l'Istituto di Chimica Agraria ed Ambientale dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza: pH, tessitura, capacità di scambio cationico, elementi potenzialmente tossici, Carbonio e Azoto, calcare totale, macroelementi, mercurio e radionuclidi gamma emittenti -

Tra tutti i parametri misurati, il mercurio è stato selezionato come indicatore di emissioni antropogeniche nell'ambiente. I dati del mercurio visualizzati in Figura 1 sono stati utilizzati per analizzarne la distribuzione spaziale sulla quale è stata basata la strategia per effettuare campioni di suolo compositi per l'analisi di POPs proposta dall'Università di Piacenza (Figura 2).

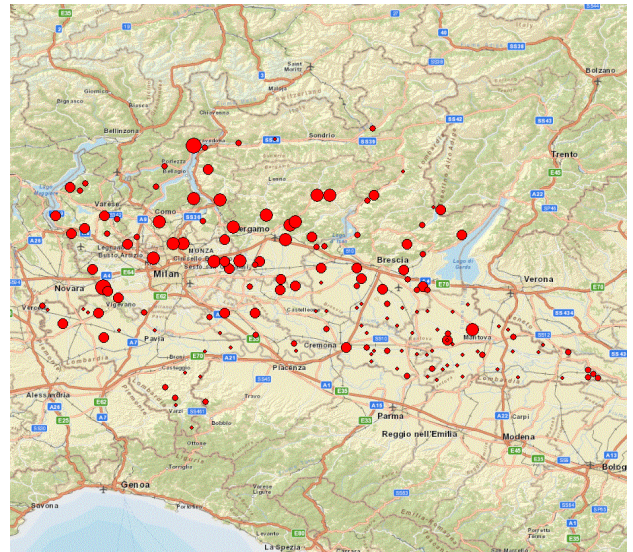


Figura 1. Distribuzione spaziale del Mercurio nei suoli superficiali della Regione Lombardia.

Sono stati preparati 39 campioni compositi contenenti da 3 a 5 punti individuali (Figura 2, Tabella 1).

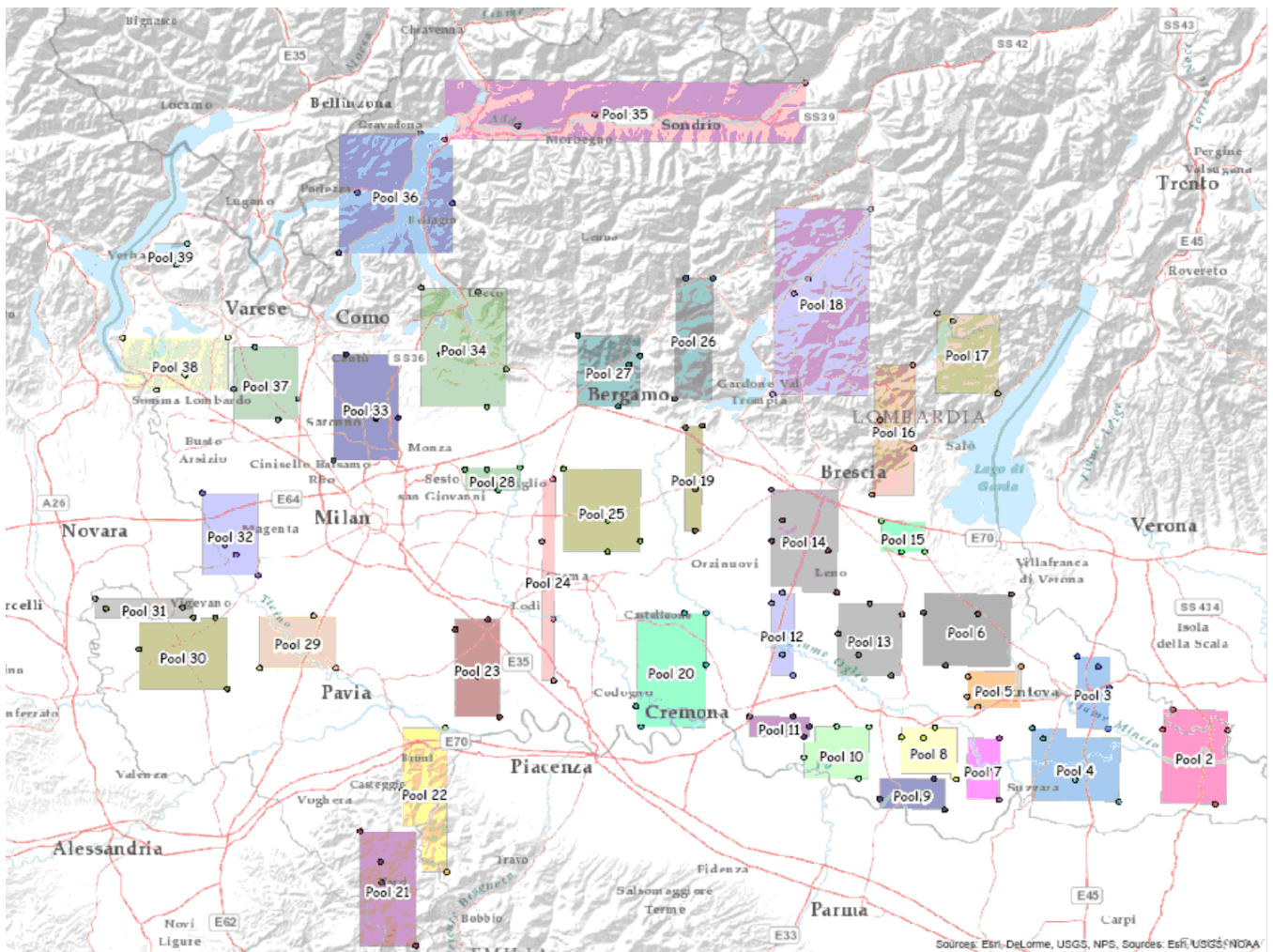


Figura 2. Visualizzazione delle aree coperte dai campioni compositi proposti dall'Università di Piacenza

Tabella 1: Elenco dei campioni di suolo utilizzati per la produzione di campioni compositi in fase 1 come proposto dall'Università di Piacenza.

Pool	JRC pool	Piacenza Code	JRC Code
1	12-143	149/MN/36/2011 148/MN/35/2011 136/MN/26/2011 140/MN/29/2011	12-118 12-117 12-111 12-114
2	12-144	147/MN/34/2011 125/MN/18/2011 111/FR/01/2011 124/MN/17/2011	12-116 12-107 12-079 12-106
3	12-145	122/MN/15/2011 123/MN/16/2011 102/MN/08/2011 098/MN/05/2011	12-104 12-105 12-100 12-097
4	12-146	146/MN/33/2011 143/MN/31/2011 130/MN/22/2011 121/MN/14/2011	12-115 11-121 12-108 12-103
5	12-147	101/MN/07/2011 110/MN/12/2011 109/MN/11/2011 107/MN/10/2011	12-098 12-102 12-101 11-107
6	12-148	080/MN/02/2011 100/MN/06/2011 090/MN/04/2011 089/MN/03/2011	12-096 11-104 11-102 11-100
7	12-149	144/MN/32/2011 129/MN/21/2011 139/MN/28/2011 133/MN/24/2011	11-122 11-114 11-118 12-110
8	12-150	137/MN/27/2011 119/MN/13/2011 128/MN/20/2011 127/MN/19/2011	12-113 11-109 11-113 11-111
9	12-151	150/MN/37/2011 135/MN/25/2011 142/MN/30/2011 141/CR/17/2011	11-124 11-116 11-119 11-099
10	12-152	132/CR/15/2011 117/CR/12/2011 118/CR/13/2011 134/CR/16/2011	11-095 11-091 11-092 11-097
11	12-153	126/CR/14/2011 116/CR/11/2011 114/CR/10/2011 113/CR/09/2011	11-094 11-089 11-087 11-085
12	12-154	096/CR/06/2011 104/CR/08/2011 082/BS/27/2011 078/BS/25/2011	11-079 11-083 11-062 11-059
13	12-155	088/BS/29/2011 083/BS/28/2011 105/MN/09/2011 097/BS/31/2011 094/BS/30/2011	11-066 11-064 11-105 11-069 11-067
14	12-156	079/BS/26/2011 072/BS/23/2011 063/BS/18/2011 058/BS/16/2011 067/BS/21/2011	11-060 11-056 11-051 11-049 11-053
15	12-157	065/BS/19/2011 074/BS/24/2011 070/BS/22/2011 075/MN/01/2011	12-071 11-057 11-055 12-095
16	12-158	059/BS/17/2011 051/BS/14/2011	12-070 12-069

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

		042/BS/09/2011 047/BS/13/2011	12-064 12-068
17	12-159	037/BS/08/2011 026/BS/05/2011 025/BS/04/2011	12-063 12-062 12-061
18	12-160	008/BS/01/2011 012/BS/02/2011 015/BS/03/2011 046/BS/12/2011	12-058 12-059 12-060 12-067
19	12-161	066/BS/20/2011 057/BS/15/2011 044/BS/10/2011 045/BS/11/2011	11-052 11-048 12-065 12-066
20	12-162	087/CR/05/2011 086/CR/04/2011 099/CR/07/2011 162/LO/06/2011 161/LO/05/2011	11-077 11-075 11-081 12-133 12-087
21	12-163	155/PV/18/2011 154/PV/17/2011 152/PV/16/2011 151/PV/15/2011	11-158 11-157 11-156 11-155
22	12-164	153/FR/02/2011 145/PV/14/2011 138/PV/13/2011 120/PV/12/2011	11-159 11-154 11-153 11-152
23	12-165	115/PV/11/2011 106/PV/08/2011 157/LO/01/2011 159/LO/03/2011	11-151 11-147 12-085 12-086
24	12-166	055/BG/13/2011 069/CR/02/2011 158/LO/02/2011 160/LO/04/2011	12-055 11-071 12-088 12-132
25	12-167	052/BG/11/2011 064/CR/01/2011 073/CR/03/2011 068/BG/14/2011	12-053 11-070 11-073 12-057
26	12-168	035/BG/09/2011 014/BG/01/2011 018/BG/03/2011	12-052 12-049 12-050
27	12-169	021/BG/04/2011 024/BG/06/2011 029/BG/07/2011 039/BG/10/2011	12-129 12-130 11-047 12-131
28	12-170	061/MI/04/2011 056/MI/02/2011 060/MI/03/2011 053/BG/12/2011	12-093 12-092 11-126 12-128
29	12-171	103/PV/07/2011 108/PV/09/2011 091/MI/09/2011	11-145 11-148 11-133
30	12-172	095/PV/06/2011 112/PV/10/2001 092/PV/04/2011	11-143 11-149 11-139
31	12-173	081/PV/01/2011 085/PV/03/2011 084/PV/02/2011 093/PV/05/2011	11-135 11-137 11-136 11-141
32	12-174	062/MI/05/2011 071/MI/06/2011 076/MI/07/2011 077/MI/08/2011	12-094 11-128 11-130 11-132
33	12-175	054/MI/01/2011	12-091

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

		043/MB/01/2011 048/MB/02/2011 028/CO/07/2011	12-089 12-090 12-076
34	12-176	040/LC/05/2011 030/BG/08/2011 027/LC/04/2011 019/LC/03/2011 020/CO/05/2011	12-084 12-051 12-083 12-082 12-074
35	12-177	005/LC/01/2011 002/SO/02/2011 003/SO/03/2011 001/SO/01/2011	12-080 11-161 11-162 11-160
36	12-178	004/CO/01/2011 006/LC/02/2011 009/CO/03/2011 007/CO/02/2011	12-078 12-081 12-073 12-072
37	12-179	049/VA/08/2011 038/CO/08/2011 041/VA/07/2011 023/CO/06/2011	12-126 12-077 12-125 12-075
38	12-180	032/VA/04/2011 050/VA/09/2011 034/VA/06/2011 033/VA/05/2011	12-122 12-127 12-124 12-123
39	12-181	011/VA/02/2011 010/VA/01/2011 013/VA/03/2011	12-120 12-119 12-121

Sommario 156 campioni individuali miscelati in 39 campioni composti

Dopo aver omogeneizzato i campioni di suolo individuali, sono state prelevate aliquote uguali in modo da ottenere 200 g di campione composito. Quest'ultimo veniva attentamente omogeneizzato e 50 g sono stati sottoposti alle analisi di POPs.

2. Materiali e metodi

Per l'analisi di PCDD/F, PCBs, PBDE e OCP nei campioni è stato utilizzato un metodo analitico multiresiduale. Le analisi di tutti i composti è stata effettuata utilizzando la tecnica della diluizione isotopica accoppiata con la spettrometria di massa ad alta risoluzione (HRGC-HRMS). Il metodo adottato fa riferimento a i metodi ufficiali EPA-Usa (EPA-1613, EPA 1668, EPA 1614 e EPA 1699).

2.1 Materiali e Standards

Le soluzioni 68-CVS e 68-LCS (Wellington Laboratories Guelph, Ontario, Canada) sono state utilizzate come standards nativi e standard interni marcati con 12 atomi di ^{13}C per 12 congeneri DL-PCBs. Le soluzioni PCB-Mix 3 (Ehrenstorfer) e EC-4058 (CIL, Andover, Massachusetts, USA) sono state utilizzate come standards nativi e standard interni marcati con 12 atomi di ^{13}C per 6 congeneri indicator-PCBs. I congeneri PCB-111 e PCB-170 (Wellington Laboratories Guelph, Ontario, Canada) marcati con 12 atomi di ^{13}C sono stati utilizzati come recovery standards.

Le soluzioni EPA 1613CVS, EPA 1613LCS e EPA 1613ISS (Wellington Laboratories Guelph, Ontario, Canada) sono state utilizzate come standards nativi, standard interni e recovery standards marcati con 12 atomi di ^{13}C per i 17 congeneri 2,3,7,8 sostituiti di PCDDs/Fs.

Dieci congeneri marcati con 12 atomi di ^{13}C erano utilizzati come standards interni per i PBDE. Nove erano presenti nella soluzione MBDE-MXE-STK (in accordo con la nomenclatura IUPAC: BDE-28, BDE 47, BDE 99, BDE 153, BDE 154, BDE 183; BDE 197, BDE 207 e BDE 209) e 1 il BDE 100 era aggiunto dalla soluzione MBDE 100. I congeneri BDE 126 e BDE 206 marcati con 12 atomi di ^{13}C erano utilizzati come recovery standards. La soluzione BDE-MXE è stata utilizzata per gli standards nativi. Tutti gli standards dei PBDE erano della Wellington Laboratories (Guelph, Ontario, Canada).

Tutti gli standards interni utilizzati per l'analisi dei OCPs erano marcati con ^{13}C (Aldrin, α -HCH, γ -HCH, Cis-nonachlor, Dieldrin, α -Endosulfan, beta-Endosulfan, Endrin, Heptachlor, Heptachlor-endo-epoxide (trans,isomerA), HCB, Mirex, o,p-DDD, o,p-DDT, Chlordane, Oxy-chlordane (gamma), p,p-DDE, p,p-DDT, and Trans-nonachlor).

L' β -HCH e o,p-DDE marcati con ^{13}C e il p,p-DDD marcato con d8 erano utilizzati come recovery standards. Tutti gli standards marcati e native dei OCP erano della Cambridge Isotope Laboratories.

Tutti i solventi organici utilizzati erano Dioxin analysis grade (Sigma-Aldrich, Buchs SG, Switzerland). L'acido Solforico impiegato era al 98% extra pure (VWR International s.r.l., Milan, Italy). La purificazione dei PCDD/F, PCBs e PBDEs era eseguita su colonne cromatografiche pronte all'uso: silica acida, alumina basica e carbone attivo (Fluid Management Systems (FMS) Inc., Watertown, MA, USA). La purificazione dei OCPs è stata eseguita su colonne cromatografiche pronte all'uso impaccate con Alumina-B e Florisil (Supelco).

2.2 Estrazione

I campioni di suolo sono stati liofilizzati, omogeneizzati e setacciati a $< 2\text{mm}$.

Previa estrazione una miscela di standards interni per l'analisi di PCDD/Fs, PCBs, PBDEs e OCPs è stata aggiunta ai campioni.

L'estrazione è stata fatta mediante Soxhlet per 48 ore utilizzando 300 mL di n-esano/acetone (220/30). Ad eccezione dei muschi che è stata utilizzata una miscela di n-esano/acetone (50/50).

Il 10% dell'estratto è stato prelevato e dedicato all'analisi dei OCPs, il restante 90% è stato utilizzato per l'analisi di PCDD/Fs, PCBs e PBDEs.

2.3 Purificazione di PCDD/Fs, PCBs, PBDEs

Il 90% dell'estratto ottenuto è stato sottoposto prima ad un trattamento fortemente acido con acido solforico al 98% adsorbito su fase inerte (Extrelut) e successivamente purificato su un sistema automatico (Power-Prep P6, Fluid Management Systems (FMS) Inc., Watertown, MA, USA). In breve questo sistema prevede il passaggio del campione prima su una colonna di silica acidificata/silica neutra, poi su una colonna di allumina basica ed infine su carbone attivo. Alla fine del processo di purificazione si ottengono 2 distinte frazioni, una contenente Mono-orto PCBs, indicator-PCBs e PBDEs e la seconda contenente i Non-Orto-PCBs e PCDD/Fs.

Le frazioni così ottenute sono state concentrate a piccolo volume, addizionate dei relativi recovery standard e sottoposte ad analisi strumentale.

2.4 Purificazione di OCP

Il 10% dell'estratto ottenuto è stato caricato su una colonna contenente 2 g di allumina basica e 5 g di Florisil ed in seguito eluito con 40 mL di una miscela di etil acetato/n-esano (2:8). In seguito l'eluato è stato concentrato a piccolo volume, addizionato dei recovery standard e sottoposte ad analisi strumentale.

2.5 Analisi Strumentale

PCBs, PCDD/Fs, PBDEs, e OCPs sono stati analizzati utilizzando un doppio HRGC (Thermo Trace GC Ultra, Thermo Electron, Bremen, Germany), accoppiato ad uno spettrometro di massa ad alta risoluzione (HRMS) il DFS (Thermo Electron, Bremen, Germany). Si è operato in EI-mode a 45 eV con una risoluzione >10000. Per la rivelazione dei PCBs, PCDD/Fs sono stati registrati i due ioni molecolari più abbondanti dovuti al cluster del cloro, sia per i nativi che per gli standards marcati.

Per l'analisi dei congeneri dei PBDEs, da tri a octa-bromurati sono stati registrati i due ioni molecolari più abbondanti dovuti al cluster del bromo, per i nona e deca-bromurati sono stati registrati i due ioni più abbondanti dovuti alla perdita di due atomi di bromo ($M^+ 2Br$) sia per i nativi che per gli standards marcati.

Per gli OCPs sono stati selezionati due ioni del cluster isotopico dovuto al cloro sulla base dei rispettivi spettri di massa, dei tempi di ritenzione e del range dinamico al quale lo spettrometro (HRMS) poteva lavorare.

La separazione dei differenti composti ed isomeri per i Non-orto PCBs, PCDD/Fs e OCPs è stata ottenuta utilizzando una colonna capillare BP-DXN (SGE, Victoria, Australia) lunga 60 m, con un diametro interno di 0,25 mm e uno spessore del film di 0,25 μm . Le condizioni gas-cromatografiche utilizzate per i non-ortho PCBs, PCDD/Fs erano:

PTV- Delayed Splitless injection: 8 μL iniettati nel PTV injector con un programma di temperatura da 100 $^{\circ}\text{C}$ per 1,5 min fino a 300 $^{\circ}\text{C}$ per 10 min a 8 $^{\circ}\text{C sec}^{-1}$, split/splitless 1 min, constant flow a 1,5 mL min^{-1} di He, interfaccia GC-MS a 300 $^{\circ}\text{C}$ e il seguente programma GC: 140 $^{\circ}\text{C}$ per 1 min, seguito da poi un gradiente di 240 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ fino a 160 $^{\circ}\text{C}$ per 0 min, poi un gradiente di 2,5 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ fino a 270 $^{\circ}\text{C}$ per 0 min poi un gradiente di 20 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ fino a 320 $^{\circ}\text{C}$ con un isoterma finale di 9 min.

Le condizioni gas-cromatografiche utilizzate per OCPs erano: PTV injector con un programma di temperature da 100 a 245 $^{\circ}\text{C}$ a 14,5 $^{\circ}\text{C sec}^{-1}$, constant flow a 1,0 mL min^{-1} di He, interfaccia GC-MS a 270 $^{\circ}\text{C}$ e il seguente programma GC: 100 $^{\circ}\text{C}$ per 1 min in isoterma, poi un gradiente di 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ fino a 300 $^{\circ}\text{C}$ e un isoterma finale a 300 $^{\circ}\text{C}$ per 9 min.

La separazione isomerica per i PBDEs è stata ottenuta utilizzando una colonna capillare Sol-Gel-1ms (SGE, Victoria, Australia), lunga 15 m con un diametro interno di 0,25 mm e uno spessore del film di 0,1 μm .

Le condizioni gas-cromatografiche utilizzate erano: PTV injector con un programma di temperature da 110 a 300 $^{\circ}\text{C}$ a 14,5 $^{\circ}\text{C sec}^{-1}$, constant flow a 1,0 mL min^{-1} di He, interfaccia GC-MS a 300 $^{\circ}\text{C}$ e la seguente programmata GC: 110 $^{\circ}\text{C}$ 1 min in isoterma, poi un gradiente di 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ fino a 300 $^{\circ}\text{C}$ e un isoterma finale a 300 $^{\circ}\text{C}$ per 6 min.

La separazione isomerica di Mono-orto PCBs, Indicator-PCBs e PCBs totali per classe di clorurazione

è stata effettuata utilizzando una colonna capillare HT-8 (SGE, Victoria, Australia), lunga 60 m con un diametro interno di 0,25 mm e uno spessore del film di 0,25 μm .

Le condizioni gas-cromatografiche utilizzate erano: Split/splitless injector a 280 $^{\circ}\text{C}$, constant flow a 1,5 mL min^{-1} di He, interfaccia GC-MS a 280 $^{\circ}\text{C}$ e il seguente programma GC: da 120 $^{\circ}\text{C}$ a 20 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ fino a 180 $^{\circ}\text{C}$, poi 2 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ fino a 260 $^{\circ}\text{C}$ e successivamente 5 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ fino a 300 $^{\circ}\text{C}$ e un isoterma finale a 300 $^{\circ}\text{C}$ per 4 min.

3. Risultati

3.1 Relazione con i valori limiti per i suoli superficiali

3.1.1 DIOSSINE (PCDD/FS)

Per verificare la qualità dell'omogeneità dei campioni composti ottenuta miscelando i suoli prelevati in punti diversi, sono stati selezionati tre campioni ed analizzati in doppio.

I campioni composti selezionati erano: JRC pool code 12-168, 12-170 e 12-175. Nella Figura 3 viene riportata la comparazione tra le concentrazioni degli isomeri 2,3,7,8-sostituiti e l'I-TEQ globale misurate nei tre campioni.

I risultati ottenuti mostrano la buona omogeneità ottenuta durante la preparazione dei campioni composti.

Nell'APPENDICE B sono riportate le concentrazioni (pg/g) dei singoli congeneri 2,3,7,8-sostituiti, la loro espressione in TEQ utilizzando diversi scale di TEF (I-TEQ, 1998 WHO TEQ e 2005 WHO TEQ) e la quantità totale di congeneri per le differenti classi di clorurazione, misurate nei 39 campioni di suolo composti.

Ai fini della discussione dei risultati delle analisi delle Diossine sono stati presi in considerazione i valori indicati nel D.L. numero 152 del 2006 (Vedi Annesso informativo) e riassunto nella Tabella 2.

Tabella 2: Valori limite in suoli e sedimenti riportati dal D.L. n. 152 tabella A

	Valori soglia	Specificazioni
Suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale	10 pg I-TEQ	Concentrazioni espresse su sostanza secca in suoli superficiali ¹

Tutti i campioni di suolo composti misurati hanno fornito risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,37 pg I-TEQ /g misurato nella provincia di Brescia (JRC pool code 12-159) ad un massimo di 2,88 pg I-TEQ /g nella provincia di Milano (JRC pool code 12-174), con una media tra tutti di campioni di 1,05 pg I-TEQ /g. Solo tre campioni superavano la soglia di 2 pg I-TEQ /g, uno già menzionato, e gli altri due cadevano al confine tra le provincie di Milano-Bergamo con 2,12 pg I-TEQ /g (JRC pool code 12-170) e le provincie di Lecco-Bergamo-Como con 2,44 pg I-TEQ /g (JRC pool code 12-175).

Secondo la normativa italiana il limite di soglia è di 10 pg/g I-TEQ per l'utilizzo del Suolo ad uso Verde

pubblico, privato e residenziale e nessuno dei 39 campioni composti eccedeva questo limite.

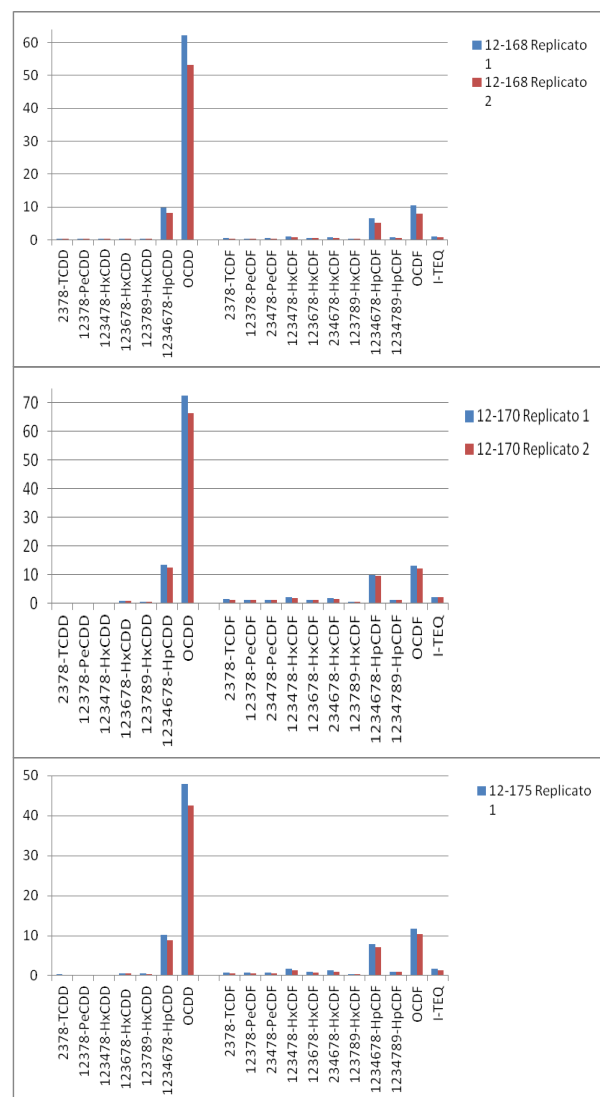


Figura 3. Comparazione tra le concentrazioni (pg/g) degli isomeri 2,3,7,8-sostituiti e l'I-TEQ totale misurate nei tre campioni composti analizzati in duplicato.

¹ In accordo con Supplemento ordinario alla GAZZETTA UFFICIALE N. 248, del 21. Ottobre 1999.

3.1.2 POLICLORO BIFENILI (PCBS):

Per verificare la qualità dell'omogeneità dei campioni composti ottenuta miscelando i suoli prelevati in punti diversi, sono stati selezionati tre campioni ed analizzati in doppio.

I campioni composti selezionati erano: JRC pool code 12-168, 12-170 e 12-175. Nella Figura 4 viene riportata la comparazione tra le concentrazioni dei sei Indicator- PCBs misurate nei tre campioni.

Anche i risultati ottenuti per i PCBs mostrano la buona omogeneità ottenuta durante la preparazione dei campioni composti (Figura 4).

Nell'APPENDICE C sono riportate le concentrazioni (ng/g), misurate nei 39 campioni di suolo composti, dei singoli congeneri Dioxin-Like PCBs, dei sei congeneri degli Indicator PCBs e la concentrazione totale dei congeneri per le differenti classi di clorurazione.

La concentrazione in pg/g dell'espressione dei Dioxin-Like PCBs in TEQ viene riportata utilizzando le due scale di TEF del WHO (I-TEQ, 1998 WHO TEQ e 2005 WHO TEQ).

Tabella 3: Valori limite in suoli e sedimenti riportati dal D.L. n. 152 tabella A per PCBs

	Valori soglia	Specificazioni
Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale (PCBs)	60 ng/g	Concentrazioni espresse su sostanza secca in suoli superficiali ²
Siti ad uso Commerciale e Industriale (PCBs)	5000 ng/g	Concentrazioni espresse su sostanza secca in suoli superficiali
Sedimenti (DL-PCBs)	2000 pg TEQ/g	Sommatoria T.E. PCDD, PCDF (Diossine e Furani) e PCBs diossina simili
Sedimenti (PCBs totali)	8000 ng/g	sommatoria dei seguenti congeneri PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB 118, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 169 e PCB 180.

Ai fini della discussione dei risultati delle analisi sono stati presi in considerazione i valori indicati nel D.L. numero 152 del 2006 (Vedi Annesso informativo) e riassunto nella Tabella 3.

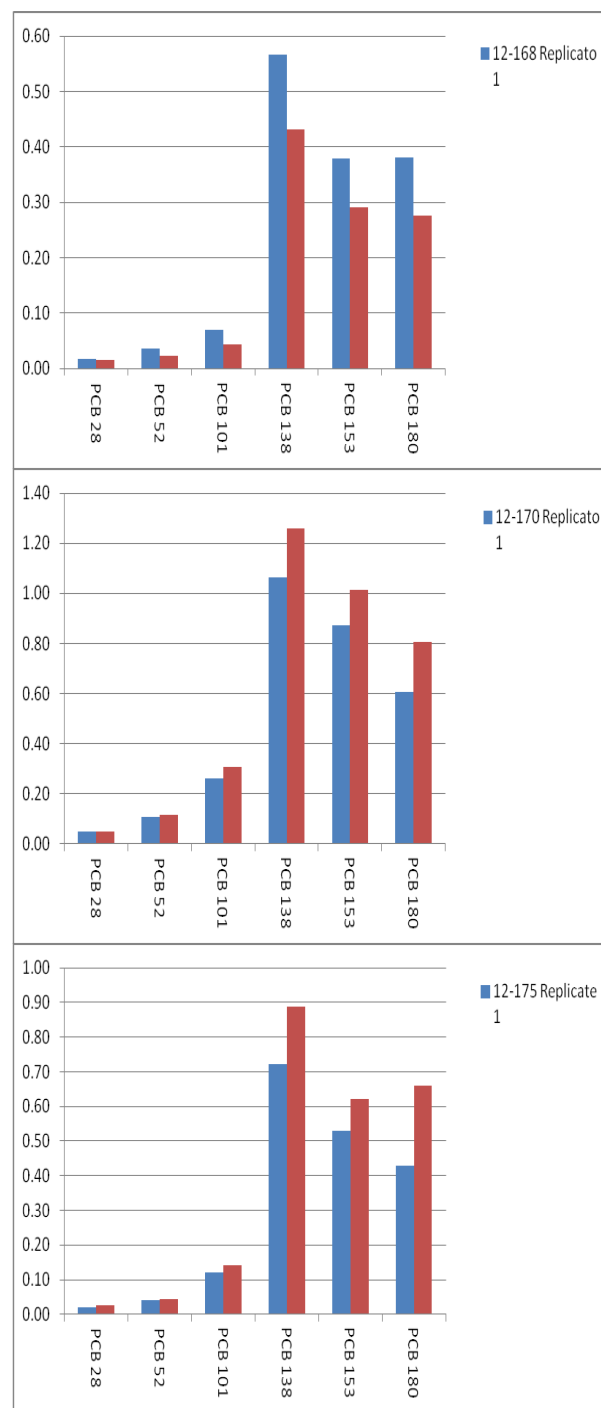


Figura 4. Comparazione tra le concentrazioni (ng/g) dei sei Indicator- PCBs misurate nei tre campioni composti analizzati in duplicato

² In accordo con Supplemento ordinario alla GAZZETTA UFFICIALE N. 248, del 21. Ottobre 1999.

3.1.2.1 PCB Totali

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per i PCBs totali nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 60 ng/g.

Nel decreto D.L. 152 del 2006 (tabella 3, Appendice F) per i suoli si fa riferimento alla concentrazione di PCBs totali, ma non ne viene specificata la definizione. Al tal fine si è deciso di fare riferimento alla definizione specificata, nello stesso decreto, per i sedimenti, dove per PCBs totali si intende la sommatoria dei seguenti congeneri PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB 118, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 169 e PCB 180.

Negli APPENDICE C viene riportata la concentrazione (ng/g) della somma di tali congeneri, con l'esclusione del congenere PCB-128, non analizzato in questo studio, ma che comunque non risulta essere tra i più abbondanti nell'ambiente.

Inoltre in questo studio, per le analisi dei PCBs nei suoli, si è deciso di misurare oltre ai diversi congeneri appartenenti alle famiglie dei Dioxin-Like PCBs ed Indicator-PCBs, anche le concentrazioni totali di congeneri presenti nelle diverse classi di clorurazione (da tri-cloro ad epta-cloro) al fine di avere una più reale stima del contenuto totale di PCBs nel campione.

Per la comparazione dei risultati con i limiti legislativi prenderemo in considerazione sia la definizione di PCBs totali (Σ congeners-PCBs) utilizzata nel decreto D.L. 152 del 2006 per i sedimenti, che la somma di tutti i congeneri presenti nelle diverse classi clorate misurate (Total-PCBs).

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni Σ congeners-PCBs variavano da un minimo di 0,31 ng/g misurato nella provincia di Pavia (JRC pool code 12-163) ad un massimo di 7,88 ng/g nella provincia di Brescia (JRC pool code 12-158), con una media tra tutti di campioni di 1,72 ng/g.

Negli stessi campioni si registravano le concentrazioni minime (0,73 ng/g) e massime (18,8 ng/g) dei Total-PCBs con una media di 3,65 ng/g.

Nessuno dei campioni compositi misurato eccedeva la soglia di 60 ng/g, anche prendendo in considerazione il valore più alto misurato di Total-PCBs di 18,8 ng/g, esso risultava ancora tre volte minore della soglia di attenzione.

3.1.2.2 Dioxin like PCBs

Riguardo i suoli il decreto legislativo non dà valori limite per i DL-PCBs espressi come TCDD-Equivalenti nel suolo, quindi ai fini di questa discussione faremo riferimento al limite utilizzato per le Diossine (10 pg/g I-TEQ). Inoltre verranno utilizzati i 2005 WHO-TEQ come indicato nello stesso decreto per i PCBs nei sedimenti.

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di

0,09 pg 2005 WHO-TEQ/g misurato nella provincia di Pavia (JRC pool code 12-163) ad un massimo di 1,18 pg 2005 WHO-TEQ/g nella provincia di Brescia (JRC pool code 12-158), con una media tra tutti di campioni di 0,31 pg 2005 WHO-TEQ/g ng/g.

Tutti i campioni erano lontani dalla soglia dei 10 pg TEQ/g utilizzati per le diossine.

3.1.3 PESTICIDI ORGANOCLORURATI (OCPs):

Per verificare la qualità dell'omogeneità dei campioni compositi ottenuta miscelando i suoli prelevati in punti diversi, sono stati selezionati tre campioni ed analizzati in doppio.

I campioni compositi selezionati erano: JRC pool code 12-170, 12-175 e 12-176. Nella Figura 5 viene riportata la comparazione tra le concentrazioni dei pesticidi risultati più abbondanti nei tre campioni.

Anche i risultati ottenuti per i OCPs mostrano la buona omogeneità ottenuta durante la preparazione dei campioni compositi.

In questo studio sono stati analizzati 30 pesticidi appartenenti alla famiglia degli organoclorurati. Nell'APPENDICE D sono riportate le concentrazioni (ng/g), misurate nei 39 campioni di suolo compositi. In tutti i campioni di suolo il Methoxychlor e Heptachlor-endo-epoxide erano sotto al LRM (limite di rivelabilità del metodo).

Ai fini della discussione dei risultati delle analisi sono stati presi in considerazione i valori indicati nel D.L. numero 152 del 2006 (Vedi Annesso informativo) e riassunto nella Tabella 4. Nel Decreto non sono indicati i valori limiti per tutti i composti, ma invita ad utilizzare, nel caso non fosse esplicitamente indicato, quelli attribuiti alla categoria di appartenenza del composto stesso.

Tabella 4: Valori limite in suoli e sedimenti riportati dal D.L. n. 152 tabella A per OCPs

Composto	Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale (PCBs)	Siti ad uso Commerciale e Industriale (PCBs)
Pentaclorobenzene	100 ng /g	50000 ng /g
Esaclorobenzene	50 ng/g	5000 ng /g
Esaclorocicloesani: Alfa Beta Gamma (lindano)	10 ng/g 10 ng/g 10 ng/g	100 ng/g 500 ng/g 500 ng/g
Clordano	10 ng/g	100 ng/g
Aldrin	10 ng/g	100 ng/g
Dieldrin	10 ng/g	100 ng/g
Endrin	10 ng/g	2000 ng/g
DDT, DDD, DDE	10 ng/g	100 ng/g
Altri non indicati nel D.L. 152-2006	10 ng/g	100 ng/g

3.1.3.1 Pentaclorobenzene

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per il Pentaclorobenzene nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 100 ng/g.

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,043 ng/g misurato nelle province di Cremona-Brescia (JRC pool code 12-154) ad un massimo di 0,39 ng/g nelle province di Lecco-Bergamo-Como (codice JRC pool 12-176) , con una media tra tutti di campioni di 0,12 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

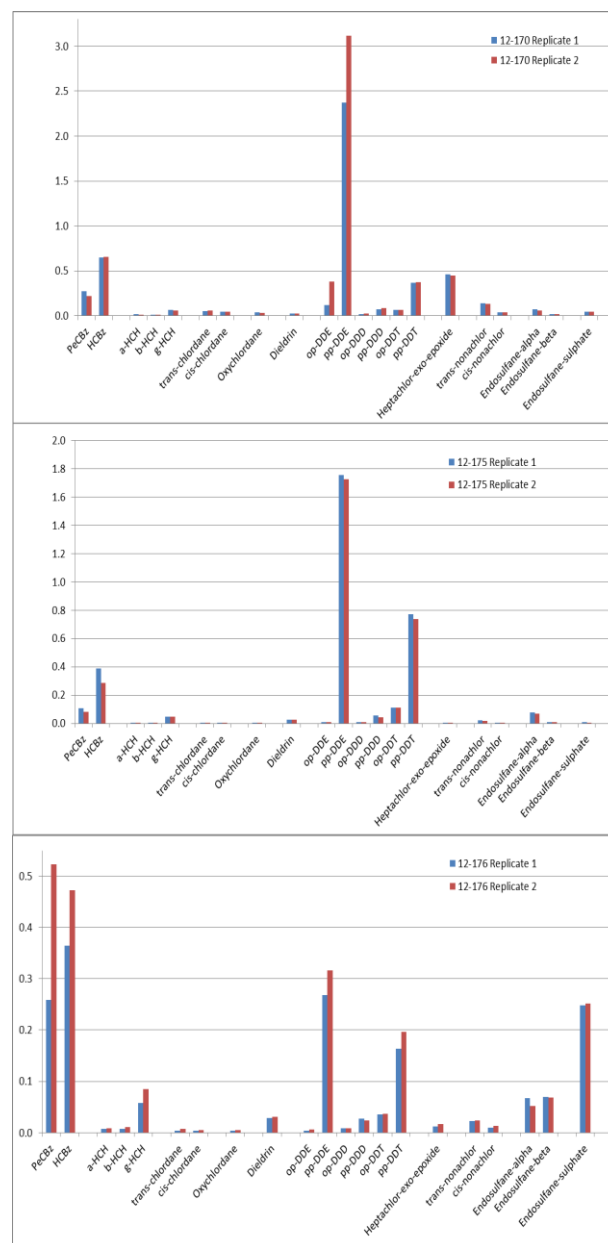


Figura 5. Comparazione tra le concentrazioni (ng/g) di OCPs misurate nei tre campioni compositi analizzati in duplicato

3.1.3.2 Esaclorobenzene

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per l'esaclorobenzene nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 50 ng/g.

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,062 ng/g misurato nella provincia di Brescia (codice JRC pool 12-159) ad un massimo di 1,03 ng/g nelle province di Mantova-Ferrara (codice JRC pool 12-144) , con una media tra tutti di campioni di 0,29 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno 50 volte sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.3 Esaclorocicloesani

In questo studio sono stati determinate le concentrazioni di 5 differenti isomeri appartenenti alla famiglia dei cicloesani, alfa, beta, gamma, delta ed epsilon.

Di seguito vengono riportate le considerazioni sui risultati riscontrati nei campioni di suolo.

3.1.3.3.1 Alfa-Esaclorocicloesano

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per l'Alfa-Esaclorocicloesano nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 10 ng/g.

Tutti i campioni di suolo composti misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,004 ng/g misurato nelle province di Lecco-Sondrio (codice JRC pool 12-177) ad un massimo di 0,38 ng/g nelle province di Mantova-Ferrara (codice JRC pool 12-144), con una media tra tutti di campioni di 0,031 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno 20 volte sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.3.2 Beta-Esaclorocicloesano

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per l'Beta-Esaclorocicloesano nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 10 ng/g.

Tutti i campioni di suolo composti misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,003 ng/g misurato nelle province di Lecco-Sondrio e Como-Lecco (codice JRC 12-177 e 12-178) ad un massimo di 1,29 ng/g nelle province di Bergamo-Cremona-Lodi (codice JRC pool 12-166), con una media tra tutti di campioni di 0,074 ng/g.

Ad eccezione del campione JRC pool 12-166, che era circa 8 volte sotto la soglia indicata nel Decreto, tutti gli altri campioni erano inferiori di un ordine di grandezza.

3.1.3.3.3 Gamma-Esaclorocicloesano

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per l'Gamma-Esaclorocicloesano nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 10 ng/g.

Tutti i campioni di suolo composti misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,016 ng/g misurato nelle province di Cremona-Brescia (codice JRC pool 12-154) ad un massimo di 0,82 ng/g nelle province di Mantova (codice JRC pool 12-148), con una media tra tutti di campioni di 0,081 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.3.4 Delta-Esaclorocicloesano

Nel Decreto non sono indicati i valori limiti per il Delta-Esaclorocicloesano nel Suolo ad uso Verde pubblico, quindi si farà riferimento a 10 ng/g indicato per gli altri isomeri di esaclorocicloesano.

Molti campioni di suolo composti misurati sono risultati inferiori al LRM (limite di rivelabilità del

metodo; <0,0015 ng/g). Le concentrazioni nei campioni risultati superiori al LRM variavano da un minimo di 0,003 ng/g misurato nella provincia di Brescia (codice JRC pool 12-156) ad un massimo di 0,12 ng/g nella provincia di Mantova (codice JRC pool 12-144), con una media tra tutti di campioni di 0,024 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto

3.1.3.3.5 Epsilon-Esaclorocicloesano

Nel Decreto non sono indicati i valori limiti per il Epsilon-Esaclorocicloesano nel Suolo ad uso Verde pubblico, quindi si farà riferimento a 10 ng/g indicato per gli altri isomeri di esaclorocicloesano.

La maggior parte dei campioni di suolo composti misurati sono risultati inferiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo; <0,0015 ng/g). Le concentrazioni nei campioni risultati superiori al LRM variavano da un minimo di 0,004 ng/g misurato nella provincia di Mantova (codice JRC pool 12-150) ad un massimo di 0,045 ng/g nelle province di Bergamo-Cremona-Lodi (codice JRC pool 12-166), con una media tra tutti di campioni di 0,016 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.4 Clordano

In questo studio sono stati determinate le concentrazioni degli isomeri Cis e Trans appartenenti alla famiglia del Clordano, il decreto non specifica a quale isomero fare riferimento, quindi ai fini della discussione utilizzeremo la somma delle loro concentrazioni.

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per il Clordano nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 10 ng/g.

Tutti i campioni di suolo composti misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,004 ng/g misurato nella provincia di Bergamo (codice JRC pool 12-168) ad un massimo di 1,67 ng/g nella provincia di Varese (JRC pool code 12-180), con una media tra tutti di campioni di 0,10 ng/g.

Ad eccezione del campione JRC pool 12-180, prelevato nelle province Varese, che era circa 6 volte sotto la soglia indicata nel Decreto, tutti gli altri campioni erano inferiori di almeno un ordine di grandezza.

3.1.3.5 Ossiclordano

Nel Decreto non sono indicati i valori limiti per l'ossiclordano nel Suolo ad uso Verde pubblico, quindi si farà riferimento a 10 ng/g indicato per il clordano.

Alcuni campioni di suolo composti misurati sono risultati inferiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo; <0,0005 ng/g). Le concentrazioni nei campioni risultati superiori al LRM variavano da un minimo di 0,001 ng/g misurato nella provincia di

Brescia (codice JRC pool 12-158) ad un massimo di 0,44 ng/g nella provincia di provincia di Varese (codice JRC pool 12-180), con una media tra tutti di campioni di 0,035 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.6 Aldrin

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per l'Aldrin nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 10 ng/g.

Alcuni campioni di suolo compositi misurati sono risultati inferiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo; <0,001 ng/g). Le concentrazioni nei campioni risultati superiori al LRM variavano da un minimo di 0,002 ng/g misurato in diverse province (codici JRC pool 12-159, 12-169, 12-174 e 12-176) ad un massimo di 0,649 ng/g nella provincia di Varese (codice JRC pool 12-180), con una media tra tutti di campioni di 0,064 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.7 Dieldrin

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per il Dieldrin nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 10 ng/g, mentre quello per Siti ad uso Commerciale e Industriale è di 100 ng/g.

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,011 ng/g misurato nella provincia di Pavia (codice

JRC pool 12-163) ad un massimo di 101 ng/g nella provincia di Varese (codice JRC pool 12-180), con una media tra tutti di campioni di 2,88 ng/g.

Un campione, il JRC pool code 12-180, eccedeva il limite soglia stabilito per Siti ad uso Commerciale e Industriale (100 ng/g).

Tutti gli altri campioni erano inferiori al valore soglia previsto per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale.

Per il codice JRC pool 12-180 veniva eseguita un indagine di approfondimento andando ad analizzare i singoli siti componenti i pool in modo da individuare la distribuzione e l'origine delle concentrazioni nella zona studiata. Di seguito vengono riportati i risultati.

3.1.3.7.1 Dieldrin: Concentrazioni e distribuzione nel pool 12-180

Nella Tabella 5 vengono riportate le concentrazioni dei pesticidi facenti parte della famiglia dei Drins riscontrate nei singoli campioni di suolo componenti il pool 12-180. In tre siti analizzati si riscontravano concentrazioni di Dieldrin inferiori di due ordini di grandezza rispetto al limite di 10 ng/g indicato per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. Solo il sito 050/VA/09/2011 era il responsabile di tutto il contenuto di Dieldrin determinato nel pool. In esso veniva riscontrato una concentrazione di 360 ng/g, più di tre volte superiore al limite indicato per Siti ad uso Commerciale e Industriale.

Nella Figura 6 vengono raffigurate le concentrazioni di Σ Chlordane, Σ -Drins e Σ DDT per i singoli campioni del pool 12-180.

Tabella 5: Concentrazioni di pesticidi Drins nel pool 12-180

Pool Lab. Code:	12-180			
Sample Lab. Code:	OCP-12-122-180913-3	OCP-12-123-180913-4	OCP-12-124-180913-5	OCP-12-127-180913-8
Univ. Piacenza Code:	032/VA/04/2011	033/VA/05/2011/A	034/VA/06/2011	050/VA/09/2011
Province of:	VA	VA	VA	VA
Type of sample:	Soil pool 12-180	Soil pool 12-180	Soil pool 12-180	Soil pool 12-180
Mass Analysed (g):	5	5	5	5
Data analysed:	9-Oct-13	9-Oct-13	9-Oct-13	9-Oct-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
Aldrin	<0,010	<0,010	<0,010	2,39
Dieldrin	0,11	0,10	0,14	360,3
Endrin	<0,010	<0,010	<0,010	0,38
Isodrin	<0,010	<0,010	<0,010	0,066
Sum-Drins	0,11	0,10	0,14	363

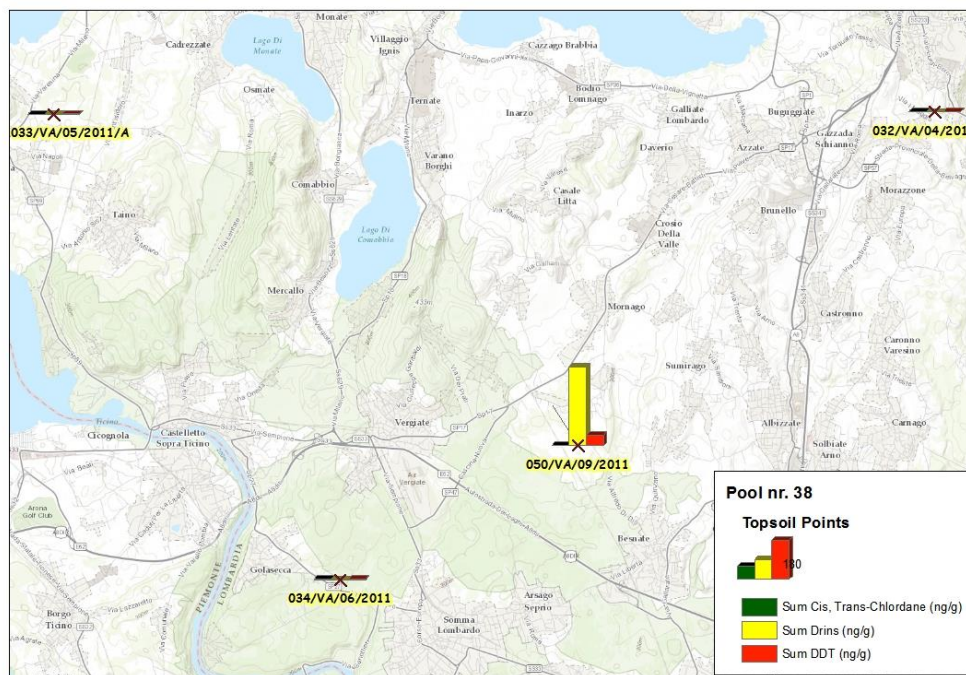


Figura 6. Distribuzione di Σ Chlordane, Σ -Drins e Σ DDTs nel pool 12-180 in provincia di Varese.

3.1.3.8 Endrin

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per l'Endrin nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 10 ng/g.

Alcuni campioni di suolo compositi misurati sono risultati inferiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo; <0,002 ng/g). Le concentrazioni nei campioni risultati superiori al LRM variavano da un minimo di 0,007 ng/g misurato nelle province Brescia-Mantova (JRC pool code 12-157) ad un massimo di 0,62 ng/g nella provincia di Varese (codice JRC pool 12-180), con una media tra tutti di campioni di 0,32 ng/g. Tutti i campioni erano almeno un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.9 Isodrin

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per l'Endrin nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 10 ng/g.

Tutti gli altri campioni di suolo compositi misurati sono risultati inferiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo; <0,005 ng/g).

Un solo campione è stato trovato positivo con una concentrazione di 0,014 ng/g nella provincia di Varese (codice JRC pool 12-180), comunque almeno 2 ordini di grandezza inferiori alla soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.10 DDTs

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per la famiglia del DDT nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 10 ng/g, mentre quello per Siti ad uso Commerciale e Industriale è di 100 ng/g. Il Decreto prevede che sia presa in considerazione la somma di tutti i metaboliti (DDE, DDD, DDT) e dei

loro isomeri nelle forme o,p e p,p'. Qui di seguito commenteremo le concentrazioni riscontrate per ogni singolo composto e in fine faremo un'analisi della somma delle loro concentrazioni nei confronti dei valori soglia indicati nel Decreto.

3.1.3.10.1 op-DDE

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,002 ng/g misurato nella provincia di Brescia (codice JRC pool 12-159) ad un massimo di 0,54 ng/g sempre nella provincia di Brescia (JRC pool code 12-160), con una media tra tutti di campioni di 0,034 ng/g.

3.1.3.10.2 pp'-DDE

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,061 ng/g misurato nella provincia di Mantova (codice JRC pool 12-148) ad un massimo di 75 ng/g nella provincia di Brescia (codice JRC pool 12-160), con una media tra tutti di campioni di 2,72 ng/g.

3.1.3.10.3 op-DDD

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,003 ng/g misurato nelle province di Mantova, nelle province di Cremona-Brescia (codici JRC pool 12-146 e 12-154) ad un massimo di 0,28 ng/g nella provincia di Brescia (codice JRC pool 12-160), con una media tra tutti di campioni di 0,31 ng/g.

3.1.3.10.4 pp'-DDD

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,008 ng/g misurato nelle province di Cremona-Brescia (codice JRC pool 12-154) ad un massimo di 0,64 ng/g nelle province di Como-Varese (codice JRC pool 12-179), con una media tra tutti di campioni di 0,075 ng/g.

3.1.3.10.5 op-DDT

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,016 ng/g misurato nella provincia di Mantova (codice JRC pool 12-150) ad un massimo di 8,0 ng/g sempre nella provincia di Brescia (codice JRC pool 12-160), con una media tra tutti di campioni di 0,33 ng/g.

3.1.3.10.6 pp'-DDT

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,044 ng/g misurato nella provincia di Mantova (codice JRC pool 12-148) ad un massimo di 24,7 ng/g sempre nella provincia di Brescia (codice JRC pool 12-160), con una media tra tutti di campioni di 1,08 ng/g.

3.1.3.10.7 Sommatoria-DDT

La somma delle concentrazioni di tutti gli isomeri/metaboliti del DDT variavano da un minimo di 0,14 ng/g misurato nella provincia di Mantova (codice JRC pool 12-148) ad un massimo di 109 ng/g sempre nella provincia di Brescia (codice JRC pool 12-160), con una media tra tutti di campioni di 4,27 ng/g.

La soglia di 10 ng/g indicata nel Decreto per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale veniva superata con 14,76 ng/g nella provincia di Varese (codice JRC pool 12-180) e sfiorata con 9,12 ng/g nelle province di Como-Varese (codice JRC pool 12-179). Solo un pool nella provincia di Brescia (codice JRC pool 12-160) concentrazioni di 109 ng/g superava la soglia indicata nel Decreto per Siti ad uso Commerciale e Industriale di 100 ng/g.

Per questi tre pool veniva eseguita un'indagine di approfondimento andando ad analizzare i singoli campioni di suolo componenti i pool in modo da individuare la distribuzione e l'origine delle concentrazioni nella zona studiata. Di seguito vengono riportati i risultati.

3.1.3.10.7.1 DDTs: Concentrazioni e distribuzione nel pool 12-180

Nella Tabella 6 vengono riportate le concentrazioni dei metaboliti/isomeri del DDT riscontrate nei singoli campioni di suolo componenti il pool 12-180. In 2 siti analizzati concentrazioni della sommatoria dei DDTs risultavano inferiori di almeno un ordine di grandezza rispetto al limite di 10 ng/g indicato per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. In un terzo sito le concentrazioni erano circa un terzo di tale limite. Solo il sito 050/VA/09/2011, che era il responsabile della maggior parte del contenuto dei DDTs determinato nel pool, veniva riscontrata una concentrazione di 47,92 ng/g, circa cinque volte superiore al limite indicato per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale (Figura 6).

Tabella 6: Concentrazioni di metaboliti/isomeri del DDT nel pool 12-180

Pool Lab. Code:	12-180			
Sample Lab. Code:	OCP-12-122-180913-3	OCP-12-123-180913-4	OCP-12-124-180913-5	OCP-12-127-180913-8
Univ. Piacenza Code:	032/VA/04/2011	033/VA/05/2011/A	034/VA/06/2011	050/VA/09/2011
Province of:	VA	VA	VA	VA
Type of sample:	Soil pool 12-180	Soil pool 12-180	Soil pool 12-180	Soil pool 12-180
Mass Analysed (g):	5	5	5	5
Data analysed:	9-Oct-13	9-Oct-13	9-Oct-13	9-Oct-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
op-DDE	0,011	0,013	0,017	0,170
pp-DDE	0,39	0,58	1,04	27,86
op-DDD	0,031	0,034	0,041	0,479
pp-DDD	0,09	0,52	0,19	3,65
op-DDT	0,13	0,15	0,14	2,43
pp-DDT	0,32	1,98	0,64	13,34
Sum-DDT total	0,97	3,28	2,07	47,92

3.1.3.10.7.2 DDTs: Concentrazioni e distribuzione nel pool 12-179

Nella Tabella 7 vengono riportate le concentrazioni dei metaboliti/isomeri del DDT riscontrate nei singoli campioni di suolo componenti il pool 12-179. In 3 siti analizzati le concentrazioni della sommatoria dei DDTs risultavano inferiori di almeno un ordine di grandezza rispetto al limite di 10 ng/g indicato per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. Il sito

038/CO/08/2011 in provincia di Como, era il responsabile della maggior parte del contenuto dei DDTs determinato nel pool. In esso veniva riscontrato una concentrazione di 27,99 ng/g, circa tre volte superiore al limite indicato per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale.

Nella Figura 7 vengono raffigurate le concentrazioni dei DDT per i singoli campioni del pool 12-179.

Tabella 7: Concentrazioni di metaboliti/isomeri del DDT pool 12-179

Pool Lab. Code:	12-179			
Sample Lab. Code:	OCP-12-075-180913-1	OCP-12-077-180913-2	OCP-12-125-180913-6	OCP-12-126-180913-7
Univ. Piacenza Code:	023/CO/06/2011	038/CO/08/2011	041/VA/07/2011	049/VA/08/2011
Province of:	CO	CO	VA	VA
Type of sample:	Soil pool 12-179	Soil pool 12-179	Soil pool 12-179	Soil pool 12-179
Mass Analysed (g):	5	5	5	5
Data analysed:	8-Oct-13	9-Oct-13	9-Oct-13	9-Oct-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
op-DDE	0,017	0,119	0,010	0,009
pp-DDE	0,29	13,5	0,35	0,27
op-DDD	0,028	0,86	0,032	0,022
pp-DDD	0,06	2,49	0,13	0,10
op-DDT	0,15	1,87	0,13	0,11
pp-DDT	0,28	9,14	0,44	0,35
Sum-DDT total	0,83	27,99	1,10	0,87

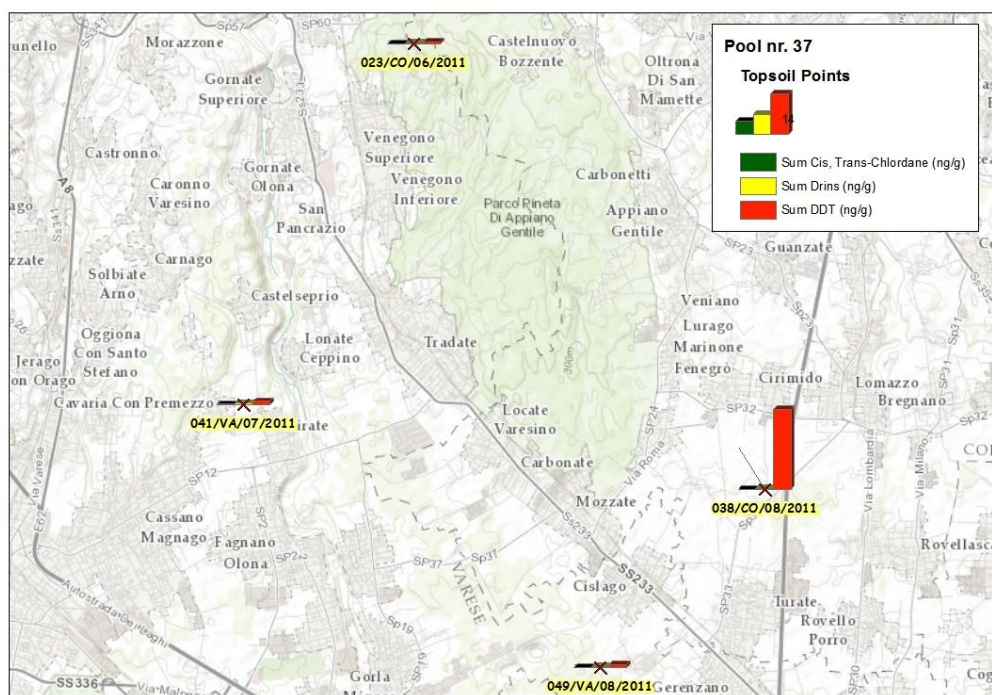


Figura 7. Distribuzione di Σ Chlordane, Σ -Drins e Σ DDTs nel pool 12-179 nelle province di Como-Varese.

3.1.3.10.7.3 DDTs: Concentrazioni e distribuzione nel pool 12-160

Nella Tabella 8 vengono riportate le concentrazioni dei metaboliti/isomeri del DDT riscontrate nei singoli campioni di suolo componenti il pool 12-160. In 3 siti analizzati le concentrazioni della sommatoria dei DDTs risultavano inferiori di almeno un ordine di grandezza rispetto al limite di 10 ng/g indicato per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. Il sito

008/BS/01/2011 in provincia di Brescia, era il responsabile di tutto il contenuto dei DDTs determinato nel pool. In esso veniva riscontrato una concentrazione di 730 ng/g, circa sette volte superiore al limite indicato per i Siti ad uso Commerciale e Industriale. Nella Figura 8 vengono raffigurate le concentrazioni dei DDT per i singoli campioni del pool 12-160.

Tabella 8: Concentrazioni di metaboliti/isomeri del DDT nel pool 12-160

Pool Lab. Code:	12-160			
Sample Lab. Code:	OCP-12-058-170913-4-C	OCP-12-059-170913-5	OCP-12-060-170913-6	OCP-12-067-170913-7
Univ. Piacenza Code:	008/BS/01/2011	012/BS/02/2011	015/BS/03/2011	046/BS/12/2011
Province of:	BS	BS	BS	BS
Type of sample:	Soil pool 12-160	Soil pool 12-160	Soil pool 12-160	Soil pool 12-160
Mass Analysed (g):	5	5	5	5
Data analysed:	9-Oct-13	8-Oct-13	8-Oct-13	8-Oct-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
op-DDE	1,63	0,010	0,009	0,007
pp-DDE	629,0	0,37	1,09	0,092
op-DDD	4,09	0,014	0,024	0,012
pp-DDD	16,8	0,04	0,09	0,03
op-DDT	20,8	0,10	0,11	0,08
pp-DDT	58,1	0,26	0,52	0,17
Sum-DDT total	730,4	0,79	1,85	0,39

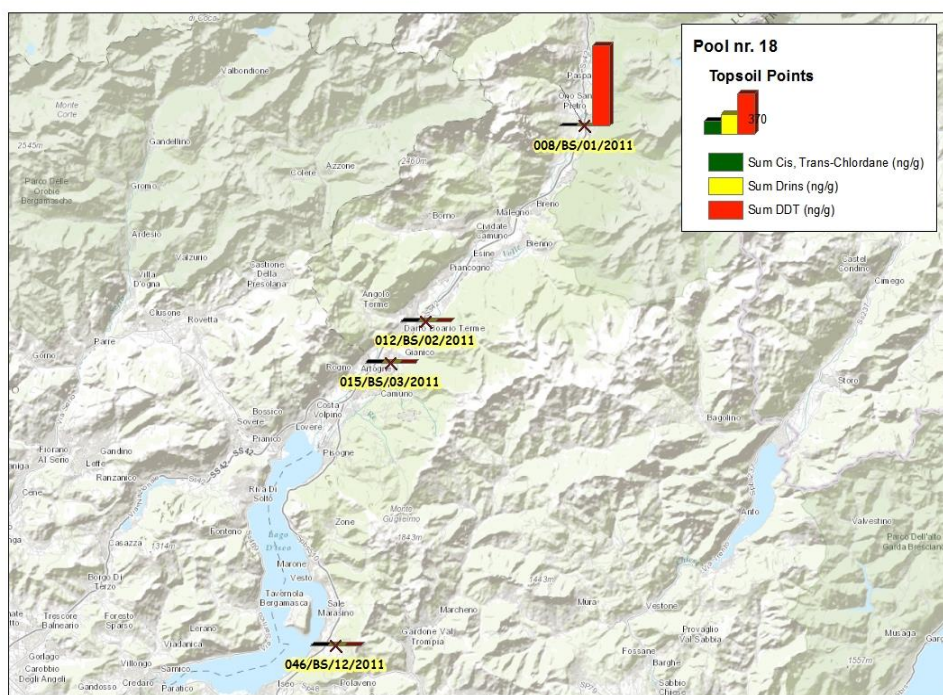


Figura 8. Distribuzione di Σ Chlordane, Σ -Drins e Σ DDTs nel pool 12-160 nella provincia di Brescia.

3.1.3.11 Heptachlor

Nel Decreto non sono indicati i valori limiti per l'Heptachlor nel Suolo ad uso Verde pubblico, quindi si farà riferimento a 10 ng/g come indicato per la maggior parte dei pesticidi clorurati.

Alcuni campioni di suolo compositi misurati sono risultati inferiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo; <0.0008). Le concentrazioni nei campioni variavano da un minimo di 0,002 ng/g misurato in diverse province ad un massimo di 0,14 ng/g nella provincia di Varese (codice JRC pool 12-180), con una media tra tutti di campioni di 0,018 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.12 Heptachlor-exo-epoxide

Nel Decreto non sono indicati i valori limiti per l'Heptachlor-exo-epoxide nel Suolo ad uso Verde pubblico, quindi si farà riferimento a 10 ng/g come indicato per la maggior parte dei pesticidi clorurati.

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,003 ng/g misurato in tre pool nelle province di Pavia, Brescia, Como e Lecco (codici JRC pool 12-158, 12-163 e 12-178) ad un massimo di 4,17 ng/g nella provincia di Varese (codice JRC pool 12-180), con una media tra tutti di campioni di 0,27 ng/g.

Il campione, il JRC pool code 12-180, presentava una concentrazione circa la metà del valore soglia previsto per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale, tutti gli altri campioni erano inferiori al valore soglia previsto per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale.

Per il JRC pool code 12-180 veniva eseguita un'indagine di approfondimento andando ad analizzare i singoli siti componenti i pool in modo da individuare la distribuzione e l'origine delle concentrazioni nella zona studiata. Di seguito vengono riportati i risultati.

3.1.3.12.1 Heptachlor-exo-epoxide Concentrazioni e distribuzione nel pool 12-180

Nella Tabella 9 vengono riportate le concentrazioni dell'Heptachlor-exo-epoxide riscontrate nei singoli campioni di suolo componenti il pool 12-180. In 3 siti analizzati le concentrazioni risultavano inferiori di almeno due ordini di grandezza rispetto al limite di 10 ng/g indicato per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. Solo il sito 050/VA/09/2011, che era il responsabile della maggior parte del contenuto dell'Heptachlor-exo-epoxide determinato nel pool, veniva riscontrata una concentrazione di 13,77 ng/g, leggermente superiore al limite indicato per il Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale.

Tabella 9: Concentrazioni di metaboliti/isomeri di Heptachlor-exo-epoxide nel pool 12-180

Pool Lab. Code:	12-180			
Sample Lab. Code:	OCP-12-122-180913-3	OCP-12-123-180913-4	OCP-12-124-180913-5	OCP-12-127-180913-8
Univ. Piacenza Code:	032/VA/04/2011	033/VA/05/2011/A	034/VA/06/2011	050/VA/09/2011
Province of:	VA	VA	VA	VA
Type of sample:	Soil pool 12-180	Soil pool 12-180	Soil pool 12-180	Soil pool 12-180
Mass Analysed (g):	5	5	5	5
Data analysed:	9-Oct-13	9-Oct-13	9-Oct-13	9-Oct-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
Heptachlor-exo-epoxide	0,010	0,007	0,15	13,77

3.1.3.13 Trans e Cis Nonachlor

In questo studio sono stati determinate le concentrazioni degli isomeri Cis e Trans appartenenti alla famiglia del Nonachlor, il decreto non specifica ne a quale isomero fare riferimento ne a valori limiti. Ai fini della discussione utilizzeremo la somma delle loro concentrazioni e si farà riferimento a 10 ng/g come indicato per la maggior parte dei pesticidi clorurati per l'utilizzo di Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale.

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,006 ng/g misurato nella provincia di Pavia (JRC pool code 12-163) ad un massimo di 1,16 ng/g nella

provincia di Cremona (codice JRC pool 12-153), con una media tra tutti di campioni di 0,22 ng/g.

Tutti i campioni erano un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.14 Endosulfane

In questo studio sono stati determinate le concentrazioni degli isomeri Alpha e Beta appartenenti alla famiglia dell'Endosulfan, il decreto non specifica ne a quale isomero fare riferimento, ne a valori limiti. Mentre l'isomero Beta in tutti i campioni di suolo compositi misurati è risultato superiore al LRM (limite di rivelabilità del metodo), l'isomero Alpha è risultato superiore al suo LRM (<0,015 ng/g) in soli 8 campioni di suolo.

Ai fini della discussione utilizzeremo la somma delle loro concentrazioni e si farà riferimento a 10 ng/g come

indicato per la maggior parte dei pesticidi clorurati per l'utilizzo di Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale.

La somma delle concentrazioni variavano da un minimo di 0,008 ng/g misurato in tre pool nelle province di Brescia, Pavia e Bergamo (codici JRC pool 12-159, 12-163 e 12-168) ad un massimo di 0,19 ng/g nella provincia di Varese (codice JRC pool 12-180), con una media tra tutti di campioni di 0,035 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.15 Endosulfan-sulfate:

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,001 ng/g misurato in due pool nelle province di Pavia e Bergamo (codici JRC pool 12-163 e 12-168) ad un massimo di 0,29 ng/g nella provincia di Varese (codice JRC pool 12-180), con una media tra tutti di campioni di 0,026 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno un ordine di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.3.16 Mirex

Nel Decreto non sono indicati i valori limiti per il Mirex nel Suolo ad uso Verde pubblico, quindi si farà riferimento a 10 ng/g come indicato per la maggior parte dei pesticidi clorurati.

Tutti i campioni di suolo compositi misurati sono risultati superiori al LRM (limite di rivelabilità del metodo). Le concentrazioni variavano da un minimo di 0,001 ng/g misurato ad un massimo di 0,004 ng/g con una media tra tutti di campioni di 0,002 ng/g.

Tutti i campioni erano almeno tre ordini di grandezza sotto la soglia indicata nel Decreto.

3.1.4 POLIBROMO DIFENIL ETERI (PBDES)

Per verificare l'omogeneità dei campioni compositi ottenuti miscelando i suoli prelevati in punti diversi, sono stati selezionati tre campioni ed analizzati in doppio.

I campioni compositi selezionati erano: JRC pool code 12-167, 12-168 e 12-170. Nella Figura 9 viene riportata la comparazione tra le concentrazioni dei differenti congeneri dei PBDEs nei tre campioni.

Anche i risultati ottenuti per i PBDEs mostrano la buona omogeneità ottenuta durante la preparazione dei campioni compositi.

In questo studio sono stati analizzati 8 congeneri di PBDEs rappresentativi di tre diversi formulati commerciali utilizzati in passato:

Pentabromo formulato costituito dalla somma di 6 congeneri (numerati secondo nomenclatura IUPAC) BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153 e BDE-154.

Octabromo formulato principalmente costituito dal congenere BDE-183.

Infine il Decabromo formulato costituito dal congenere BDE-209.

Nell'APPENDICE E sono riportate le concentrazioni (ng/g), misurate nei 39 campioni di suolo compositi. Nel D.L. numero 152 del 2006 non sono indicati i valori limiti per questa tipologia di composti e visto che nel caso dei pesticidi invita ad utilizzare, nel caso non fosse esplicitamente indicato, quelli attribuiti alla categoria di appartenenza del composto stesso. Quindi per i PBDEs ai fini della discussione prenderemo in considerazione i limiti indicati per i PCBs totali, che sono la categoria di sostanze sia per struttura chimica e sia per tipologia di utilizzo che ne è stata fatta in passato, quelli che si avvicinano di più all'interno del Decreto. Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per i PCBs totali nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 60 ng/g (Tabella 3).

Per la discussione dei risultati delle analisi sono stati prese in considerazione le concentrazioni dei differenti formulati.

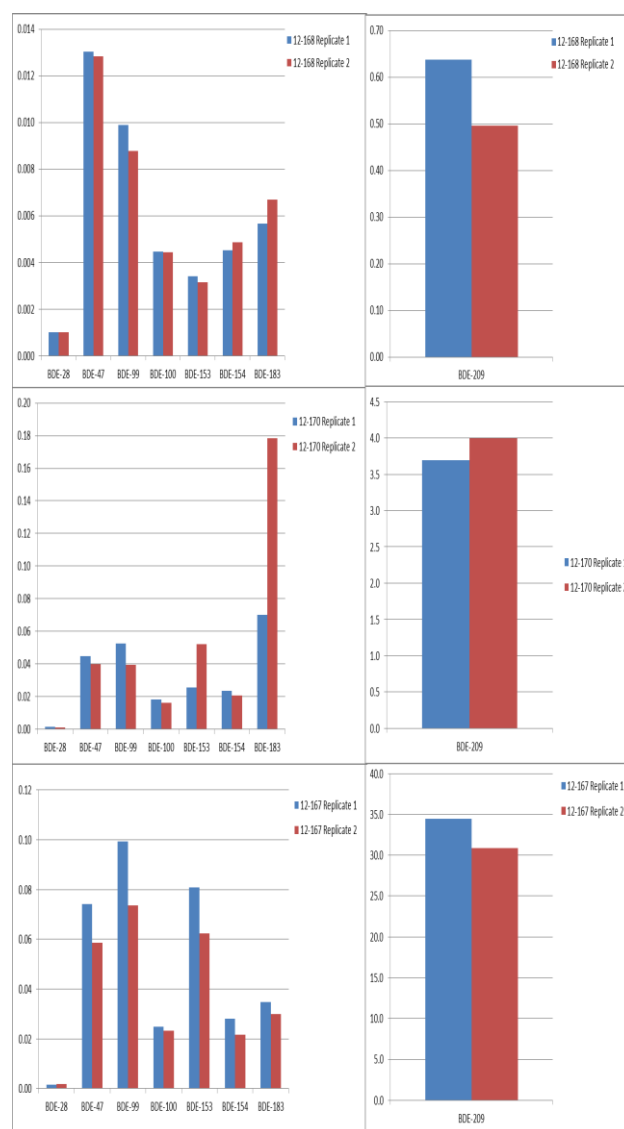


Figura 9. Comparazione tra le concentrazioni (ng/g) dei differenti congeneri di PBDEs misurate nei tre campioni compositi analizzati in duplicato.

3.1.4.1 Pentabromo formulato

Tra tutti i sei congeneri costituenti il Pentabromo formulato solo il congere BDE-28 risultava sotto il proprio LRM (limite di rivelabilità del metodo, <0,001 ng/g) e misurabile solo in quattro pool (codici JRC pool 12-167, 12-169, 12-170 e 12-172), tutti gli altri congeneri erano superiori al loro LRM.

La concentrazione della sommatoria dei sei congeneri variava da un minimo di 0,017 ng/g misurato in due pool nella provincia di Pavia (codice JRC pool 12-163) ad un massimo di 1,03 ng/g nella provincia di Bergamo (codice JRC pool 12-169), con una media tra tutti di campioni di 0,098 ng/g.

Confrontando i risultati con l'ipotetico valore di 60 ng/g considerato, tutti i campioni risultano abbondantemente sotto tale soglia.

3.1.4.2 Octabromo formulato

La concentrazione del congenere BDE-183 variava da un minimo di 0,001 ng/g misurato in due pool nella provincia di Pavia (codice JRC pool 12-163) ad un massimo di 0,139 ng/g nelle province di Cremona e Brescia (codice JRC pool 12-154), con una media tra tutti di campioni di 0,013 ng/g.

Confrontando i risultati con l'ipotetico valore di 60 ng/g considerato, tutti i campioni risultano almeno due ordini di grandezza sotto tale soglia.

3.1.4.3 Decabromo formulato

Tra tutti i congeneri dei PBDEs misurati il BDE-209 è quello che riportava le concentrazioni più elevate nei pool di campioni di suolo.

La concentrazione del congenere BDE-209 variava da un minimo di 0,11 ng/g misurato nella provincia di Pavia (codice JRC pool 12-163) a dei massimi 30,8 ng/g e di 32,7 ng/g rispettivamente nelle province di Pavia-Lodi (codice JRC pool 12-165) e nelle province di Cremona e Brescia (codice JRC pool 12-167), con una media tra tutti di campioni di 2,94 ng/g.

Confrontando i risultati con l'ipotetico valore di 60 ng/g considerato, i due campioni più alti raggiungono la metà di tale soglia, il pool 12-175 delle province Milano, Monza-Brianza, Como circa un quarto con 17,04 ng/g. Tutti gli altri campioni risultano abbondantemente sotto tale soglia.

4. Conclusioni

In questa prima fase è stata indagata una vasta area di circa 23.834 km² del territorio della Regione Lombardia. Sono stati raccolti 156 campioni di suolo superficiale in zone legate prevalentemente alle pratiche agricole e con i quali sono stati costituiti 39 campioni compositi.

Le concentrazioni di PCDD/Fs e PCBs in tutti i campioni compositi risultano essere sotto il proprio

limite di soglia richiesto dalla normativa italiana per l'utilizzo del Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. I livelli sono sufficientemente bassi da presumere che anche nei siti individuali le concentrazioni siano in accordo con la legislazione.

Le analisi dei pesticidi clorurati hanno evidenziato 3 aree che mostravano livelli superiori al limite consentito per l'utilizzo del Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. Si è proceduto ad indagare analizzando i suoli provenienti dai singoli siti componenti i campioni compositi ed individuando con maggior precisione le aree responsabili della contaminazione. In particolare i siti in provincia di Brescia (008/BS/01/2011), di Como (038/CO/08/2011) e di Varese (050/VA/09/2011) mostravano alte concentrazioni di DDTs. Il sito di Varese inoltre superava i limiti anche per il Dieldrin e Heptachlor-exo-epoxide.

Questi risultati supportano con successo l'approccio effettuato tramite la formazione di aree composite per l'individuazione di zone contaminate e la loro successiva scomposizione per l'individuazione dell'area responsabile.

I PBDEs non sono normati nel D.L. numero 152 del 2006. Anche comparando i livelli riscontrati con il limite indicato nel decreto per l'utilizzo del Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale per i composti a loro più simili (PCBs: 60 ng/g), nessun campione composito supera tale limite.

BIBLIOGRAFIA

R. M. Cenci, F. Sena, N. Filippi, G. UmLauf, G. M. Beone, G. Lodigiani, W. Gaulio, L. Musmeci, A. Benedetti, R. Jones, (2007), "Monitoring during time of relapses of an incineration plant", Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula (Cagliari), Sardinia, Italy. Riassunti 715-716 PP.

EPA. (1994b). Method 1613: "Tetra-through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC/HRMS".

EPA. (1999). Method 1668, revision A: "Chlorinated Biphenyl Congeners in Water, Soil, Sediment and Tissue by HRGC/HRMS".

EPA. (2003). Method 1614: "Brominated diphenyl ethers in water, soil, sediment, and tissue by HRGC/HRMS. Draft".

EPA. (2007). Method 1699: "Pesticides in Water, Soil, Sediment, Biosolids and Tissue by HRGC/HRMS".

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006. Supplemento Ordinario n. 96.

Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21 Ottobre 1999.

UNEP-Chemicals. (2002). Mediterranean Regional Report "Regionally based assessment of persistent Toxic Substances".

APPENDICE A: Nota informativa sulla TEQ

La tossicità equivalente, in italiano simboleggiata comunemente con TEQ, è una grandezza tossicologica che esprime la concentrazione di una sostanza nociva in termini di quantità equivalente a un composto standard. In pratica, la TEQ esprime il quantitativo di un tossico come concentrazione della sostanza di riferimento in grado di generare i medesimi effetti tossici. La TEQ è in relazione con l'effettiva concentrazione di una data sostanza tramite il fattore di equivalenza tossica (TEF, toxic equivalency factor), parametro adimensionale che moltiplicato per la concentrazione effettiva fornisce la TEQ.

Esemplificando, un grammo di sostanza A che è tossica il doppio di un'altra B, ha la stessa "tossicità equivalente" di due grammi di sostanza B.

La tossicità equivalente è di comune utilizzo per quantificare le diossine e i composti correlati o assimilati (come i furani). Anche i limiti di legge moderni relativi alle emissioni di queste sostanze legate ad attività antropica utilizzano l'unità di misura espressa comunemente in ng/Nm³ (nanogrammi su metro cubo a condizioni normali) di tossicità equivalente alla tetracloro-dibenzo-p-diossina. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha identificato 17 policloro-dibenzo-p-diossine/policloro-dibenzofurani e 12 policlorobifenili tossici assegnando loro un fattore di equivalenza tossica internazionale relativo alla tetracloro-dibenzo-p-diossina (TCDD), la più potente tra le diossine. Per questo le normative ambientali hanno progressivamente esteso i limiti secondo tossicità equivalente e le rilevazioni delle emissioni tossiche secondo la norma UNI EN 1948-2006 considerano solo queste 17 sostanze e non tutte le 210 diossine tossiche e non tossiche, il che permette un diretto confronto della tossicità di emissioni diverse e quindi l'imposizione di limiti di legge efficaci

(http://it.wikipedia.org/wiki/Tossicit%C3%A0_equivalente).

For comparability between the different TEQ schemes, and because Italian limy values for soil do rerer to the older I-TEQ scheme we report our esuts in two schemes:

1) **I-TEF and I-TEQ:** The older International Toxic Equivalent (I-TEQ) scheme by the North Atlantic Treaty Organisation (NATO) initially set up in 1989 and later extended and updated.

2) **WHO-TEF and WHO-TEQ** (also referred to as TEF or TEQ): More recently, the World Health Organization (WHO) suggested modified Toxic Equivalency Factor (TEF) values. On average, the result of TEQ-calculations is about 10% higher when I-TEFs are used compared to when WHO-TEFs are used.

Why are there different TEQ schemes?

During the last assessment in 1997 at the WHO/IPCS expert consultation in Stockholm, it was agreed to re-evaluate TEF values on a regular basis to include new scientific information published in the peer reviewed literature subsequent to the last expert consultation. An expert workshop was held on 28 to 30 June 2005 at WHO

Headquarters in Geneva. As a result, a number of TEF values have been changed, notably for PCBs, octachlorinated congeners and pentachlorinated furans

(http://www.who.int/foodsafety/chem/tef_update/en/index.html).

Compound	WHO 1998 TEF	WHO 2005 TEF*
<i>chlorinated dibenzo-p-dioxins</i>		
2,3,7,8-TCDD	1	1
1,2,3,7,8-PeCDD	1	1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01
OCDD	0.0001	0.0003
<i>chlorinated dibenzofurans</i>		
2,3,7,8-TCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.03
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.3
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01
OCDF	0.0001	0.0003
<i>non-ortho substituted PCBs</i>		
PCB 77	0.0001	0.0001
PCB 81	0.0001	0.0003
PCB 126	0.1	0.1
PCB 169	0.01	0.03
<i>mono-ortho substituted PCBs</i>		
105	0.0001	0.00003
114	0.0005	0.00003
118	0.0001	0.00003
123	0.0001	0.00003
156	0.0005	0.00003
157	0.0005	0.00003
167	0.00001	0.00003
189	0.0001	0.00003

* Numbers in bold indicate a change in TEF value

The outcome of this expert consultation has been published as peer-reviewed article in the journal Toxicological Sciences:
Reference - Van den Berg et al: The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds ToxSci Advance Access, 7 July 2006

APPENDICE B: Risultati PCDD/Fs

JRC Pool Code:	DP-12-143-281112-1	DP-12-144-281112-2	DP-12-145-281112-3
Province of:	MN	MN - FR (Fuori Regione)	MN
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	25-Jan-13	25-Jan-13	25-Jan-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,09	0,09	0,08
12378-PeCDD	0,21	0,15	0,11
123478-HxCDD	0,20	0,16	0,10
123678-HxCDD	0,34	0,34	0,22
123789-HxCDD	0,57	0,42	0,27
1234678-HpCDD	5,56	9,31	3,18
OCDD	42,06	67,70	25,14
2378-TCDF	0,35	0,32	0,33
12378-PeCDF	0,39	0,31	0,26
23478-PeCDF	0,42	0,33	0,31
123478-HxCDF	1,13	0,81	0,58
123678-HxCDF	0,78	0,54	0,38
234678-HxCDF	0,79	0,52	0,41
123789-HxCDF	0,26	0,19	0,17
1234678-HpCDF	6,48	4,98	3,23
1234789-HpCDF	0,92	0,74	0,41
OCDF	14,54	12,66	7,18
Upper-bound			
I-TEQ	1,05	0,90	0,65
1998 WHO-TEQ	1,11	0,90	0,68
2005 WHO-TEQ	1,03	0,85	0,61
Middle-bound			
I-TEQ	1,05	0,90	0,65
1998 WHO-TEQ	1,11	0,90	0,68
2005 WHO-TEQ	1,03	0,85	0,61
Lower-bound			
I-TEQ	1,05	0,90	0,65
1998 WHO-TEQ	1,11	0,90	0,68
2005 WHO-TEQ	1,03	0,85	0,61
Total PCDD/Fs			
TCDD	3,17	2,05	1,98
PeCDD	3,17	2,19	1,90
HxCDD	6,80	4,82	3,40
HpCDD	26,60	17,49	7,05
OCDD	42,06	67,70	25,14
TCDF	6,74	5,83	4,71
PeCDF	7,59	5,32	4,79
HxCDF	7,86	5,55	4,13
HpCDF	9,66	8,89	4,58
OCDF	14,54	12,66	7,18
Total PCDDs	81,81	94,25	39,47
Total PCDFs	46,38	38,24	25,38
Total PCDD/Fs	128,19	132,49	64,85

JRC Pool Code:	DP-12-146-281112-4	DP-12-147-281112-5	DP-12-148-281112-6
Province of:	MN	MN	MN
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	26-Jan-13	26-Jan-13	26-Jan-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,06	0,07	0,10
12378-PeCDD	0,11	0,12	0,09
123478-HxCDD	0,10	0,14	0,09
123678-HxCDD	0,18	0,46	0,19
123789-HxCDD	0,30	0,30	0,18
1234678-HpCDD	2,68	6,30	2,43
OCDD	21,34	31,97	16,36
2378-TCDF	0,25	0,43	0,39
12378-PeCDF	0,23	0,40	0,31
23478-PeCDF	0,27	0,46	0,35
123478-HxCDF	0,58	0,96	0,73
123678-HxCDF	0,39	0,66	0,48
234678-HxCDF	0,39	0,79	0,53
123789-HxCDF	0,13	0,20	0,14
1234678-HpCDF	3,46	5,94	4,29
1234789-HpCDF	0,45	0,60	0,48
OCDF	7,94	8,52	8,77
Upper-bound			
I-TEQ	0,59	0,94	0,70
1998 WHO-TEQ	0,62	0,96	0,73
2005 WHO-TEQ	0,57	0,87	0,65
Middle-bound			
I-TEQ	0,59	0,94	0,70
1998 WHO-TEQ	0,62	0,96	0,73
2005 WHO-TEQ	0,57	0,87	0,65
Lower-bound			
I-TEQ	0,59	0,94	0,70
1998 WHO-TEQ	0,62	0,96	0,73
2005 WHO-TEQ	0,57	0,87	0,65
Total PCDD/Fs			
TCDD	1,53	2,15	1,57
PeCDD	1,57	2,73	1,68
HxCDD	3,17	4,96	2,61
HpCDD	6,29	10,68	4,58
OCDD	21,34	31,97	16,36
TCDF	4,10	5,51	4,30
PeCDF	4,05	7,30	5,14
HxCDF	3,96	7,60	5,15
HpCDF	4,96	8,82	5,99
OCDF	7,94	8,52	8,77
Total PCDDs	33,89	52,49	26,80
Total PCDFs	25,01	37,75	29,36
Total PCDD/Fs	58,90	90,25	56,16

JRC Pool Code:	DP-12-149-281112-10	DP-12-150-281112-8	DP-12-151-281112-9
Province of:	MN	MN	MN - CR
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	28-Jan-13	28-Jan-13	28-Jan-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g

2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs

2378-TCDD	0,07	0,06	0,05
12378-PeCDD	0,10	0,10	0,13
123478-HxCDD	0,10	0,10	0,14
123678-HxCDD	0,19	0,21	0,28
123789-HxCDD	0,28	0,25	0,46
1234678-HpCDD	2,97	2,75	5,15
OCDD	23,54	16,64	57,71
2378-TCDF	0,25	0,61	0,33
12378-PeCDF	0,26	0,37	0,28
23478-PeCDF	0,27	0,39	0,30
123478-HxCDF	0,68	0,84	0,63
123678-HxCDF	0,44	0,49	0,43
234678-HxCDF	0,43	0,54	0,41
123789-HxCDF	0,15	0,22	0,14
1234678-HpCDF	3,99	4,02	3,64
1234789-HpCDF	0,58	0,72	0,50
OCDF	9,81	7,66	12,10

Upper-bound

I-TEQ	0,64	0,75	0,72
1998 WHO-TEQ	0,66	0,77	0,73
2005 WHO-TEQ	0,61	0,69	0,67

Middle-bound

I-TEQ	0,64	0,75	0,72
1998 WHO-TEQ	0,66	0,77	0,73
2005 WHO-TEQ	0,61	0,69	0,67

Lower-bound

I-TEQ	0,64	0,75	0,72
1998 WHO-TEQ	0,66	0,77	0,73
2005 WHO-TEQ	0,61	0,69	0,67

Total PCDD/Fs

TCDD	1,72	2,28	1,37
PeCDD	1,70	2,18	1,78
HxCDD	3,15	3,80	4,67
HpCDD	6,64	5,84	12,26
OCDD	23,54	16,64	57,71
TCDF	4,62	5,23	4,37
PeCDF	4,17	4,98	4,03
HxCDF	4,60	5,48	4,41
HpCDF	5,82	5,96	5,48
OCDF	9,81	7,66	12,10
Total PCDDs	36,76	30,74	77,80
Total PCDFs	29,02	29,31	30,38
Total PCDD/Fs	65,79	60,04	108,18

JRC Pool Code:	DP-12-152-281112-10B	DP-12-153-281112-11	DP-12-154-281112-12
Province of:	MN - CR	CR	CR - BS
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	3-Apr-13	29-Jan-13	29-Jan-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,06	0,07	0,03
12378-PeCDD	0,10	0,13	0,12
123478-HxCDD	0,10	0,10	0,11
123678-HxCDD	0,20	0,24	0,38
123789-HxCDD	0,25	0,24	0,27
1234678-HpCDD	2,90	2,94	8,82
OCDD	18,33	11,08	52,38
2378-TCDF	0,25	0,36	0,36
12378-PeCDF	0,28	0,37	0,32
23478-PeCDF	0,27	0,38	0,39
123478-HxCDF	0,64	0,87	0,74
123678-HxCDF	0,42	0,58	0,45
234678-HxCDF	0,46	0,67	0,62
123789-HxCDF	0,16	0,24	0,16
1234678-HpCDF	3,52	5,42	4,90
1234789-HpCDF	0,46	0,77	0,57
OCDF	6,89	9,39	7,90
Upper-bound			
I-TEQ	0,60	0,79	0,82
1998 WHO-TEQ	0,62	0,83	0,82
2005 WHO-TEQ	0,57	0,75	0,75
Middle-bound			
I-TEQ	0,60	0,79	0,82
1998 WHO-TEQ	0,62	0,83	0,82
2005 WHO-TEQ	0,57	0,75	0,75
Lower-bound			
I-TEQ	0,60	0,79	0,82
1998 WHO-TEQ	0,62	0,83	0,82
2005 WHO-TEQ	0,57	0,75	0,75
Total PCDD/Fs			
TCDD	1,72	1,86	1,79
PeCDD	1,88	2,15	2,18
HxCDD	2,98	3,48	4,43
HpCDD	6,28	5,51	16,13
OCDD	18,33	11,08	52,38
TCDF	4,81	5,36	4,11
PeCDF	4,60	6,07	5,22
HxCDF	4,36	6,37	5,87
HpCDF	5,26	7,63	7,36
OCDF	6,89	9,39	7,90
Total PCDDs	31,18	24,07	76,90
Total PCDFs	25,91	34,81	30,46
Total PCDD/Fs	57,10	58,88	107,36

JRC Pool Code:	DP-12-155-281112-13	DP-12-156-281112-14	DP-12-157-051212-1
Province of:	BS - MN	BS	BS - MN
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Feb-13	11-Feb-13	11-Feb-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,07	0,06	0,11
12378-PeCDD	0,09	0,11	0,16
123478-HxCDD	0,12	0,12	0,16
123678-HxCDD	0,44	0,27	0,36
123789-HxCDD	0,26	0,23	0,32
1234678-HpCDD	15,00	3,64	5,46
OCDD	113,32	15,54	22,07
2378-TCDF	0,35	0,70	0,89
12378-PeCDF	0,31	0,52	0,61
23478-PeCDF	0,34	0,57	0,59
123478-HxCDF	0,70	1,08	1,20
123678-HxCDF	0,47	0,59	0,76
234678-HxCDF	0,57	0,71	0,82
123789-HxCDF	0,15	0,20	0,26
1234678-HpCDF	4,57	4,16	6,01
1234789-HpCDF	0,51	0,52	0,81
OCDF	8,27	6,29	9,50
Upper-bound			
I-TEQ	0,93	0,92	1,15
1998 WHO-TEQ	0,87	0,96	1,20
2005 WHO-TEQ	0,82	0,83	1,07
Middle-bound			
I-TEQ	0,93	0,92	1,15
1998 WHO-TEQ	0,87	0,96	1,20
2005 WHO-TEQ	0,82	0,83	1,07
Lower-bound			
I-TEQ	0,93	0,92	1,15
1998 WHO-TEQ	0,87	0,96	1,20
2005 WHO-TEQ	0,82	0,83	1,07
Total PCDD/Fs			
TCDD	1,97	2,35	3,06
PeCDD	2,09	3,06	3,50
HxCDD	4,51	4,72	4,21
HpCDD	27,07	6,37	8,57
OCDD	113,32	15,54	22,07
TCDF	4,53	7,04	8,67
PeCDF	5,08	7,40	8,64
HxCDF	5,56	6,69	8,54
HpCDF	7,62	6,38	9,45
OCDF	8,27	6,29	9,50
Total PCDDs	148,97	32,04	41,41
Total PCDFs	31,06	33,80	44,81
Total PCDD/Fs	180,02	65,84	86,21

JRC Pool Code:	DP-12-158-051212-2	DP-12-159-051212-3	DP-12-160-051212-4
Province of:	BS	BS	BS
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Feb-13	12-Feb-13	12-Feb-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,06	0,01	0,04
12378-PeCDD	0,12	0,04	0,07
123478-HxCDD	0,14	0,07	0,13
123678-HxCDD	0,32	0,11	0,29
123789-HxCDD	0,27	0,12	0,21
1234678-HpCDD	5,29	1,94	5,24
OCDD	27,22	8,56	25,09
2378-TCDF	0,74	0,21	0,46
12378-PeCDF	0,51	0,18	0,33
23478-PeCDF	0,55	0,19	0,34
123478-HxCDF	1,06	0,47	0,63
123678-HxCDF	0,69	0,29	0,42
234678-HxCDF	0,71	0,30	0,46
123789-HxCDF	0,25	0,11	0,13
1234678-HpCDF	4,96	2,58	4,75
1234789-HpCDF	0,74	0,34	0,38
OCDF	8,86	4,09	4,98
Upper-bound			
I-TEQ	0,99	0,37	0,67
1998 WHO-TEQ	1,02	0,38	0,68
2005 WHO-TEQ	0,90	0,34	0,61
Middle-bound			
I-TEQ	0,99	0,37	0,67
1998 WHO-TEQ	1,02	0,38	0,68
2005 WHO-TEQ	0,90	0,34	0,61
Lower-bound			
I-TEQ	0,99	0,37	0,67
1998 WHO-TEQ	1,02	0,38	0,68
2005 WHO-TEQ	0,90	0,34	0,61
Total PCDD/Fs			
TCDD	2,13	0,58	1,13
PeCDD	2,88	0,93	1,66
HxCDD	4,23	1,45	3,28
HpCDD	9,61	3,27	9,04
OCDD	27,22	8,56	25,09
TCDF	7,79	2,04	4,40
PeCDF	7,76	2,59	4,67
HxCDF	7,52	3,41	5,59
HpCDF	8,03	3,92	7,52
OCDF	8,86	4,09	4,98
Total PCDDs	46,08	14,79	40,21
Total PCDFs	39,97	16,05	27,15
Total PCDD/Fs	86,04	30,84	67,36

JRC Pool Code:	DP-12-161-051212-5	DP-12-162-051212-6	DP-12-163-051212-7
Province of:	BS	CR - LO	PV
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	12-Feb-13	30-Jan-13	31-Jan-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,11	0,04	0,04
12378-PeCDD	0,15	0,09	0,14
123478-HxCDD	0,30	0,08	0,17
123678-HxCDD	0,57	0,19	0,20
123789-HxCDD	0,42	0,22	0,43
1234678-HpCDD	20,28	2,26	3,04
OCDD	108,19	11,14	18,37
2378-TCDF	0,64	0,32	0,14
12378-PeCDF	0,59	0,29	0,15
23478-PeCDF	0,60	0,33	0,15
123478-HxCDF	1,17	0,65	0,36
123678-HxCDF	0,74	0,41	0,26
234678-HxCDF	0,90	0,48	0,27
123789-HxCDF	0,27	0,15	0,07
1234678-HpCDF	5,81	3,59	2,23
1234789-HpCDF	0,65	0,46	0,30
OCDF	7,82	6,90	7,11
Upper-bound			
I-TEQ	1,40	0,60	0,46
1998 WHO-TEQ	1,37	0,63	0,51
2005 WHO-TEQ	1,26	0,56	0,48
Middle-bound			
I-TEQ	1,40	0,60	0,46
1998 WHO-TEQ	1,37	0,63	0,51
2005 WHO-TEQ	1,26	0,56	0,48
Lower-bound			
I-TEQ	1,40	0,60	0,46
1998 WHO-TEQ	1,37	0,63	0,51
2005 WHO-TEQ	1,26	0,56	0,48
Total PCDD/Fs			
TCDD	2,86	1,58	0,48
PeCDD	3,78	1,96	1,11
HxCDD	7,54	2,75	3,97
HpCDD	35,36	4,48	6,59
OCDD	108,19	11,14	18,37
TCDF	7,37	4,45	1,70
PeCDF	8,45	5,03	1,87
HxCDF	9,03	4,73	2,50
HpCDF	9,60	5,53	3,29
OCDF	7,82	6,90	7,11
Total PCDDs	157,73	21,91	30,51
Total PCDFs	42,27	26,64	16,47
Total PCDD/Fs	200,00	48,55	46,98

JRC Pool Code:	DP-12-164-051212-8	DP-12-165-051212-9	DP-12-166-051212-10
Province of:	PV - FR	PV - LO	BG - CR - LO
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	31-Jan-13	31-Jan-13	31-Jan-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g

2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs

2378-TCDD	0,02	0,06	0,09
12378-PeCDD	0,08	0,15	0,17
123478-HxCDD	0,07	0,14	0,19
123678-HxCDD	0,17	0,35	0,42
123789-HxCDD	0,15	0,37	0,36
1234678-HpCDD	2,42	7,21	5,45
OCDD	21,57	45,94	24,78
2378-TCDF	0,18	0,50	0,76
12378-PeCDF	0,18	0,40	0,65
23478-PeCDF	0,23	0,48	0,79
123478-HxCDF	0,42	0,88	1,33
123678-HxCDF	0,31	0,58	0,92
234678-HxCDF	0,35	0,73	1,14
123789-HxCDF	0,09	0,24	0,31
1234678-HpCDF	2,41	6,90	7,24
1234789-HpCDF	0,35	0,74	0,94
OCDF	6,41	21,28	11,42

Upper-bound

I-TEQ	0,43	0,98	1,32
1998 WHO-TEQ	0,45	1,00	1,38
2005 WHO-TEQ	0,40	0,91	1,21

Middle-bound

I-TEQ	0,43	0,98	1,32
1998 WHO-TEQ	0,45	1,00	1,38
2005 WHO-TEQ	0,40	0,91	1,21

Lower-bound

I-TEQ	0,43	0,98	1,32
1998 WHO-TEQ	0,45	1,00	1,38
2005 WHO-TEQ	0,40	0,91	1,21

Total PCDD/Fs

TCDD	0,83	2,64	3,98
PeCDD	1,24	3,03	4,40
HxCDD	2,24	6,58	6,09
HpCDD	4,95	13,55	11,68
OCDD	21,57	45,94	24,78
TCDF	2,83	8,34	9,21
PeCDF	3,24	6,70	10,75
HxCDF	3,21	6,82	10,16
HpCDF	4,08	11,17	10,26
OCDF	6,41	21,28	11,42
Total PCDDs	30,83	71,73	50,93
Total PCDFs	19,77	54,30	51,79
Total PCDD/Fs	50,61	126,03	102,72

JRC Pool Code:	DP-12-167-051212-11	DP-12-168-051212-13	DP-12-169-051212-14
Province of:	BG - CR	BG	BG
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	31-Jan-13	31-Jan-13	31-Jan-13
Concentration:	pg/g		pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,12	0,09	0,09
12378-PeCDD	0,14	0,12	0,15
123478-HxCDD	0,15	0,15	0,22
123678-HxCDD	0,36	0,36	0,45
123789-HxCDD	0,31	0,29	0,39
1234678-HpCDD	6,93	8,99	10,15
OCDD	39,85	57,68	59,48
2378-TCDF	0,57	0,44	0,65
12378-PeCDF	0,45	0,38	0,58
23478-PeCDF	0,51	0,44	0,78
123478-HxCDF	1,02	0,88	1,29
123678-HxCDF	0,68	0,61	0,90
234678-HxCDF	0,87	0,72	1,16
123789-HxCDF	0,22	0,19	0,29
1234678-HpCDF	7,32	5,83	7,51
1234789-HpCDF	0,78	0,62	0,96
OCDF	20,62	9,14	13,76
Upper-bound			
I-TEQ	1,10	0,97	1,38
1998 WHO-TEQ	1,11	0,97	1,39
2005 WHO-TEQ	1,01	0,89	1,24
Middle-bound			
I-TEQ	1,10	0,97	1,38
1998 WHO-TEQ	1,11	0,97	1,39
2005 WHO-TEQ	1,01	0,89	1,24
Lower-bound			
I-TEQ	1,10	0,97	1,38
1998 WHO-TEQ	1,11	0,97	1,39
2005 WHO-TEQ	1,01	0,89	1,24
Total PCDD/Fs			
TCDD	2,36	1,32	2,42
PeCDD	3,01	1,98	3,14
HxCDD	4,92	4,51	6,41
HpCDD	13,92	17,33	18,77
OCDD	39,85	57,68	59,48
TCDF	5,57	4,07	6,86
PeCDF	7,25	5,67	12,67
HxCDF	7,90	7,20	10,31
HpCDF	10,95	9,14	11,10
OCDF	20,62	9,14	13,76
Total PCDDs	64,05	82,81	90,22
Total PCDFs	52,29	35,23	54,70
Total PCDD/Fs	116,34	118,04	144,93

JRC Pool Code:	DP-12-170-171212	DP-12-171-171212-3	DP-12-172-171212-4
Province of:	MI - BG	PV - MI	PV
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Feb-13	6-Feb-13	6-Feb-13
Concentration:		pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,28	0,02	0,04
12378-PeCDD	0,27	0,08	0,18
123478-HxCDD	0,31	0,10	0,23
123678-HxCDD	0,77	0,25	0,63
123789-HxCDD	0,62	0,22	0,48
1234678-HpCDD	12,93	4,45	12,04
OCDD	69,31	51,90	70,67
2378-TCDF	1,32	0,40	0,82
12378-PeCDF	1,07	0,33	0,62
23478-PeCDF	1,17	0,35	0,71
123478-HxCDF	2,02	0,68	1,26
123678-HxCDF	1,28	0,42	0,89
234678-HxCDF	1,72	0,61	1,07
123789-HxCDF	0,46	0,15	0,27
1234678-HpCDF	9,63	4,89	8,78
1234789-HpCDF	1,11	0,40	0,74
OCDF	12,61	9,17	23,29
Upper-bound			
I-TEQ	2,22	0,70	1,39
1998 WHO-TEQ	2,28	0,68	1,40
2005 WHO-TEQ	2,04	0,62	1,26
Middle-bound			
I-TEQ	2,22	0,70	1,39
1998 WHO-TEQ	2,28	0,68	1,40
2005 WHO-TEQ	2,04	0,62	1,26
Lower-bound			
I-TEQ	2,22	0,70	1,39
1998 WHO-TEQ	2,28	0,68	1,40
2005 WHO-TEQ	2,04	0,62	1,26
Total PCDD/Fs			
TCDD	6,30	1,94	2,99
PeCDD	6,86	2,22	4,45
HxCDD	10,12	3,33	7,65
HpCDD	23,84	9,60	22,42
OCDD	69,31	51,90	70,67
TCDF	13,66	3,91	8,61
PeCDF	16,36	5,25	16,93
HxCDF	15,59	5,61	11,68
HpCDF	14,44	7,25	14,17
OCDF	12,61	9,17	23,29
Total PCDDs	116,43	68,98	108,18
Total PCDFs	72,64	31,18	74,69
Total PCDD/Fs	189,07	100,16	182,87

JRC Pool Code:	DP-12-173-171212-5	DP-12-174-171212-6	DP-12-175-171212
Province of:	PV	MI	MI - MB - CO
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Feb-13	6-Feb-13	6-Feb-13
Concentration:	pg/g	pg/g	
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,04	0,07	0,31
12378-PeCDD	0,10	0,33	0,20
123478-HxCDD	0,13	0,40	0,25
123678-HxCDD	0,49	0,95	0,56
123789-HxCDD	0,31	0,72	0,49
1234678-HpCDD	10,94	10,89	9,54
OCDD	81,10	52,58	45,29
2378-TCDF	0,44	1,92	0,71
12378-PeCDF	0,37	1,69	0,68
23478-PeCDF	0,40	1,87	0,62
123478-HxCDF	0,68	3,36	1,52
123678-HxCDF	0,47	2,29	0,95
234678-HxCDF	0,61	2,62	1,15
123789-HxCDF	0,16	0,68	0,40
1234678-HpCDF	4,91	14,74	7,52
1234789-HpCDF	0,42	1,37	0,90
OCDF	10,63	16,18	11,07
Upper-bound			
I-TEQ	0,89	2,88	1,60
1998 WHO-TEQ	0,86	2,99	1,64
2005 WHO-TEQ	0,79	2,60	1,52
Middle-bound			
I-TEQ	0,89	2,88	1,60
1998 WHO-TEQ	0,86	2,99	1,64
2005 WHO-TEQ	0,79	2,60	1,52
Lower-bound			
I-TEQ	0,89	2,88	1,60
1998 WHO-TEQ	0,86	2,99	1,64
2005 WHO-TEQ	0,79	2,60	1,52
Total PCDD/Fs			
TCDD	2,09	7,46	4,18
PeCDD	2,61	9,62	5,01
HxCDD	4,86	13,32	8,07
HpCDD	20,52	20,07	17,43
OCDD	81,10	52,58	45,29
TCDF	4,96	23,27	8,65
PeCDF	6,57	28,08	11,28
HxCDF	6,36	25,91	11,87
HpCDF	8,06	21,12	11,73
OCDF	10,63	16,18	11,07
Total PCDDs	111,17	103,05	79,99
Total PCDFs	36,58	114,57	54,61
Total PCDD/Fs	147,75	217,62	134,60

JRC Pool Code:	DP-12-176-260313-1	DP-12-177-171212-10	DP-12-178-171212-11
Province of:	LC - BG - CO	LC - SO	CO - LC
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	3-Apr-13	6-Feb-13	6-Feb-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,12	0,03	0,09
12378-PeCDD	0,31	0,08	0,13
123478-HxCDD	0,43	0,11	0,22
123678-HxCDD	0,90	0,32	0,40
123789-HxCDD	0,73	0,22	0,34
1234678-HpCDD	17,66	5,94	7,52
OCDD	111,10	32,91	48,99
2378-TCDF	1,30	0,24	1,13
12378-PeCDF	1,44	0,22	0,69
23478-PeCDF	1,40	0,27	0,58
123478-HxCDF	2,34	0,49	1,40
123678-HxCDF	1,71	0,35	0,76
234678-HxCDF	1,83	0,40	1,01
123789-HxCDF	0,54	0,11	0,29
1234678-HpCDF	10,39	2,60	7,29
1234789-HpCDF	1,28	0,27	0,76
OCDF	16,18	3,10	13,95
Upper-bound			
I-TEQ	2,44	0,57	1,25
1998 WHO-TEQ	2,48	0,58	1,26
2005 WHO-TEQ	2,20	0,53	1,14
Middle-bound			
I-TEQ	2,44	0,57	1,25
1998 WHO-TEQ	2,48	0,58	1,26
2005 WHO-TEQ	2,20	0,53	1,14
Lower-bound			
I-TEQ	2,44	0,57	1,25
1998 WHO-TEQ	2,48	0,58	1,26
2005 WHO-TEQ	2,20	0,53	1,14
Total PCDD/Fs			
TCDD	3,73	1,36	1,59
PeCDD	5,50	1,88	2,78
HxCDD	8,26	3,99	6,23
HpCDD	30,93	10,77	14,31
OCDD	111,10	32,91	48,99
TCDF	17,51	3,25	5,21
PeCDF	20,60	4,33	7,59
HxCDF	18,72	4,20	10,02
HpCDF	17,30	3,96	12,23
OCDF	16,18	3,10	13,95
Total PCDDs	159,52	50,90	73,90
Total PCDFs	90,31	18,84	49,00
Total PCDD/Fs	249,83	69,74	122,90

JRC Pool Code:	DP-12-179-171212-12	DP-12-180-171212-13	DP-12-181-171212-14
Province of:	CO -VA	VA	VA
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Feb-13	6-Feb-13	6-Feb-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,06	0,07	0,02
12378-PeCDD	0,20	0,26	0,13
123478-HxCDD	0,23	0,31	0,23
123678-HxCDD	0,68	0,72	0,41
123789-HxCDD	0,48	0,60	0,38
1234678-HpCDD	9,75	8,35	6,50
OCDD	50,98	37,69	29,15
2378-TCDF	0,64	0,88	0,44
12378-PeCDF	0,64	1,10	0,53
23478-PeCDF	0,69	1,03	0,49
123478-HxCDF	1,45	2,22	1,41
123678-HxCDF	0,98	1,61	0,95
234678-HxCDF	1,20	1,91	1,04
123789-HxCDF	0,34	0,54	0,31
1234678-HpCDF	7,32	10,66	7,50
1234789-HpCDF	0,82	1,28	0,89
OCDF	10,53	14,43	11,23
Upper-bound			
I-TEQ	1,38	1,91	1,07
1998 WHO-TEQ	1,43	2,00	1,10
2005 WHO-TEQ	1,29	1,78	1,00
Middle-bound			
I-TEQ	1,38	1,91	1,07
1998 WHO-TEQ	1,43	2,00	1,10
2005 WHO-TEQ	1,29	1,78	1,00
Lower-bound			
I-TEQ	1,38	1,91	1,07
1998 WHO-TEQ	1,43	2,00	1,10
2005 WHO-TEQ	1,29	1,78	1,00
Total PCDD/Fs			
TCDD	3,51	8,46	1,29
PeCDD	4,52	8,07	2,78
HxCDD	8,13	10,81	5,69
HpCDD	27,36	15,71	11,56
OCDD	50,98	37,69	29,15
TCDF	9,05	17,79	3,90
PeCDF	11,44	19,28	7,74
HxCDF	14,87	18,11	10,27
HpCDF	11,00	15,56	10,77
OCDF	10,53	14,43	11,23
Total PCDDs	94,51	80,74	50,48
Total PCDFs	56,89	85,17	43,91
Total PCDD/Fs	151,40	165,91	94,39

APPENDICE C: Risultati PCBs

Pool Lab. Code:	DP-12-143-281112-1	DP-12-144-281112-2	DP-12-145-281112-3
Province of:	MN	MN - FR	MN
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	25-Jan-13	25-Jan-13	25-Jan-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho- PCBs			
PCB-81	0,0003	0,0003	0,0003
PCB-77	0,0060	0,0067	0,0042
PCB-126	0,0014	0,0016	0,0015
PCB-169	0,0004	0,0003	0,0003
Mono-ortho- PCBs			
PCB 105	0,051	0,037	0,057
PCB 114	0,002	0,002	0,004
PCB 118	0,087	0,069	0,093
PCB 123	0,002	0,001	0,003
PCB 156	0,020	0,013	0,027
PCB 157	0,005	0,003	0,006
PCB 167	0,010	0,007	0,013
PCB 189	0,002	0,002	0,003
Indicator PCBs			
EC-6			
PCB 28	0,013	0,010	0,012
PCB 52	0,018	0,016	0,015
PCB 101	0,055	0,060	0,056
PCB 138	0,177	0,151	0,223
PCB 153	0,165	0,130	0,203
PCB 180	0,110	0,091	0,130
Σ Indicator PCBs	0,54	0,46	0,64
Σ Congeners PCBs(*)	0,65	0,55	0,77
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,052	0,040	0,048
TETRA - CB	0,150	0,132	0,128
PENTA - CB	0,416	0,376	0,407
ESA - CB	0,645	0,566	0,754
EPTA - CB	0,287	0,245	0,330
Σ Chlorinated Class PCBs	1,55	1,36	1,67
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,17	0,18	0,19
2005 WHO-TEQ	0,16	0,17	0,17
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,17	0,18	0,19
2005 WHO-TEQ	0,16	0,17	0,17
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,17	0,18	0,19
2005 WHO-TEQ	0,16	0,17	0,17

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-146-281112-4	DP-12-147-281112-5	DP-12-148-281112-6
Province of:	MN	MN	MN
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	26-Jan-13	26-Jan-13	26-Jan-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
<i>Dioxin-Like PCBs</i>			
<i>Non-ortho- PCBs</i>			
PCB-81	0,0003	0,0004	0,0004
PCB-77	0,0046	0,0046	0,0050
PCB-126	0,0014	0,0031	0,0028
PCB-169	0,0003	0,0006	0,0005
<i>Mono-ortho- PCBs</i>			
PCB 105	0,028	0,056	0,036
PCB 114	0,001	0,003	0,002
PCB 118	0,047	0,090	0,064
PCB 123	0,001	0,003	0,002
PCB 156	0,014	0,033	0,029
PCB 157	0,003	0,008	0,006
PCB 167	0,008	0,017	0,016
PCB 189	0,002	0,004	0,005
<i>Indicator PCBs</i>			
EC-6			
PCB 28	0,011	0,011	0,010
PCB 52	0,013	0,019	0,013
PCB 101	0,029	0,054	0,074
PCB 138	0,139	0,333	0,449
PCB 153	0,114	0,267	0,289
PCB 180	0,104	0,198	0,254
Σ Indicator PCBs	0,41	0,88	1,09
Σ Congeners PCBs(*)	0,48	1,02	1,19
<i>(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.</i>			
<i>Total PCBs for Chlorinated Class</i>			
TRI - CB	0,044	0,056	0,046
TETRA - CB	0,100	0,125	0,132
PENTA - CB	0,229	0,436	0,399
ESA - CB	0,429	1,040	1,527
EPTA - CB	0,260	0,533	0,678
Σ Chlorinated Class PCBs	1,06	2,19	2,78
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
<i>PCBs in TEQ</i>			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,16	0,36	0,31
2005 WHO-TEQ	0,15	0,34	0,30
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,16	0,36	0,31
2005 WHO-TEQ	0,15	0,34	0,30
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,16	0,36	0,31
2005 WHO-TEQ	0,15	0,34	0,30

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-149-281112-10	DP-12-150-281112-8	DP-12-151-281112-9
Province of:	MN	MN	MN - CR
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	28-Jan-13	28-Jan-13	28-Jan-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho- PCBs			
PCB-81	0,0003	0,0003	0,0004
PCB-77	0,0048	0,0053	0,0413
PCB-126	0,0019	0,0018	0,0020
PCB-169	0,0003	0,0003	0,0003
Mono-ortho- PCBs			
PCB 105	0,029	0,074	0,062
PCB 114	0,001	0,004	0,003
PCB 118	0,047	0,102	0,104
PCB 123	0,001	0,003	0,003
PCB 156	0,013	0,048	0,031
PCB 157	0,003	0,011	0,007
PCB 167	0,007	0,019	0,015
PCB 189	0,002	0,008	0,004
Indicator PCBs			
EC-6			
PCB 28	0,010	0,032	0,018
PCB 52	0,013	0,029	0,023
PCB 101	0,034	0,055	0,069
PCB 138	0,134	0,223	0,295
PCB 153	0,117	0,231	0,267
PCB 180	0,090	0,257	0,201
Σ Indicator PCBs	0,40	0,83	0,87
Σ Congeners PCBs(*)	0,46	0,98	1,05
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,044	0,118	0,075
TETRA - CB	0,100	0,205	0,266
PENTA - CB	0,242	0,446	0,543
ESA - CB	0,458	0,829	1,047
EPTA - CB	0,231	0,551	0,507
Σ Chlorinated Class PCBs	1,08	2,15	2,44
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,21	0,24	0,25
2005 WHO-TEQ	0,20	0,20	0,22
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,21	0,24	0,25
2005 WHO-TEQ	0,20	0,20	0,22
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,21	0,24	0,25
2005 WHO-TEQ	0,20	0,20	0,22

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-152-281112-10B	DP-12-153-281112-11	DP-12-154-281112-12
Province of:	MN - CR	CR	CR - BS
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	3-Apr-13	29-Jan-13	29-Jan-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
<i>Dioxin-Like PCBs</i>			
<i>Non-ortho- PCBs</i>			
PCB-81	0,0003	0,0002	0,0001
PCB-77	0,0044	0,0034	0,0018
PCB-126	0,0021	0,0016	0,0015
PCB-169	0,0004	0,0004	0,0005
<i>Mono-ortho- PCBs</i>			
PCB 105	0,035	0,035	0,023
PCB 114	0,002	0,001	0,001
PCB 118	0,055	0,059	0,052
PCB 123	0,002	0,002	0,002
PCB 156	0,018	0,022	0,023
PCB 157	0,004	0,005	0,007
PCB 167	0,010	0,012	0,015
PCB 189	0,003	0,003	0,004
<i>Indicator PCBs</i>			
EC-6			
PCB 28	0,009	0,011	0,013
PCB 52	0,011	0,014	0,015
PCB 101	0,046	0,045	0,053
PCB 138	0,187	0,225	0,315
PCB 153	0,168	0,190	0,264
PCB 180	0,127	0,124	0,164
Σ Indicator PCBs	0,55	0,61	0,82
Σ Congeners PCBs(*)	0,63	0,69	0,90
<i>(*) : Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.</i>			
<i>Total PCBs for Chlorinated Class</i>			
TRI - CB	0,042	0,049	0,060
TETRA - CB	0,104	0,108	0,111
PENTA - CB	0,315	0,321	0,298
ESA - CB	0,694	0,787	0,989
EPTA - CB	0,380	0,366	0,520
Σ Chlorinated Class PCBs	1,54	1,63	1,98
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
<i>PCBs in TEQ</i>			
<i>Upper-bound</i>			
1998 WHO-TEQ	0,24	0,19	0,18
2005 WHO-TEQ	0,23	0,18	0,17
<i>Middle-bound</i>			
1998 WHO-TEQ	0,24	0,19	0,18
2005 WHO-TEQ	0,23	0,18	0,17
<i>Lower-bound</i>			
1998 WHO-TEQ	0,24	0,19	0,18
2005 WHO-TEQ	0,23	0,18	0,17

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-155-281112-13	DP-12-156-281112-14	DP-12-157-051212-1
Province of:	BS - MN	BS	BS - MN
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Feb-13	11-Feb-13	11-Feb-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho- PCBs			
PCB-81	0,0003	0,0003	0,0005
PCB-77	0,0038	0,0026	0,0057
PCB-126	0,0021	0,0047	0,0052
PCB-169	0,0004	0,0013	0,0010
Mono-ortho- PCBs			
PCB 105	0,048	0,081	0,132
PCB 114	0,002	0,001	0,007
PCB 118	0,088	0,152	0,178
PCB 123	0,003	0,008	0,006
PCB 156	0,031	0,075	0,088
PCB 157	0,008	0,021	0,019
PCB 167	0,016	0,046	0,041
PCB 189	0,005	0,022	0,015
Indicator PCBs			
EC-6			
PCB 28	0,019	0,010	0,014
PCB 52	0,032	0,019	0,025
PCB 101	0,065	0,068	0,071
PCB 138	0,374	1,439	1,018
PCB 153	0,264	0,714	0,638
PCB 180	0,242	0,816	0,546
Σ Indicator PCBs	1,00	3,07	2,31
Σ Congeners PCBs(*)	1,12	3,30	2,59
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,102	0,053	0,085
TETRA - CB	0,215	0,069	0,093
PENTA - CB	0,470	0,637	0,663
ESA - CB	0,935	3,755	2,828
EPTA - CB	0,629	2,196	1,460
Σ Chlorinated Class PCBs	2,35	6,71	5,13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,25	0,56	0,62
2005 WHO-TEQ	0,23	0,52	0,56
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,25	0,56	0,62
2005 WHO-TEQ	0,23	0,52	0,56
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,25	0,56	0,62
2005 WHO-TEQ	0,23	0,52	0,56

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-158-051212-2	DP-12-159-051212-3	DP-12-160-051212-4
Province of:	BS	BS	BS
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Feb-13	12-Feb-13	12-Feb-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g

Dioxin-Like PCBs

Non-ortho-substituted PCBs

PCB-81	0,0026	0,0001	0,0003
PCB-77	0,0541	0,0028	0,0036
PCB-126	0,0105	0,0016	0,0029
PCB-169	0,0011	0,0004	0,0006

Mono-ortho-substituted PCBs

PCB 105	0,841	0,033	0,054
PCB 114	0,055	0,001	0,003
PCB 118	1,428	0,056	0,107
PCB 123	0,032	0,002	0,004
PCB 156	0,250	0,018	0,037
PCB 157	0,060	0,005	0,010
PCB 167	0,105	0,011	0,021
PCB 189	0,020	0,004	0,007

Indicator PCBs

EC-6			
PCB 28	0,102	0,019	0,013
PCB 52	0,431	0,024	0,022
PCB 101	0,966	0,033	0,070
PCB 138	2,074	0,310	0,535
PCB 153	1,740	0,179	0,333
PCB 180	0,819	0,209	0,288

Σ Indicator PCBs

Σ Congeners PCBs(*)	7,88	0,85	1,41
----------------------------	------	------	------

(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.

Total PCBs for Chlorinated Class

TRI - CB	0,337	0,104	0,074
TETRA - CB	1,116	0,082	0,082
PENTA - CB	6,768	0,263	0,544
ESA - CB	8,486	0,901	1,668
EPTA - CB	2,129	0,527	0,766
Σ Chlorinated Class PCBs	18,84	1,88	3,14

Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
-----------------------	-------------	-------------	-------------

PCBs in TEQ

Upper-bound

1998 WHO-TEQ	1,49	0,19	0,33
2005 WHO-TEQ	1,18	0,18	0,31

Middle-bound

1998 WHO-TEQ	1,49	0,19	0,33
2005 WHO-TEQ	1,18	0,18	0,31

Lower-bound

1998 WHO-TEQ	1,49	0,19	0,33
2005 WHO-TEQ	1,18	0,18	0,31

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-161-051212-5	DP-12-162-051212-6	DP-12-163-051212-7
Province of:	BS	CR - LO	PV
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	12-Feb-13	30-Jan-13	31-Jan-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0002	0,0002	0,0001
PCB-77	0,0023	0,0039	0,0020
PCB-126	0,0028	0,0016	0,0008
PCB-169	0,0008	0,0005	0,0002
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,048	0,022	0,013
PCB 114	0,003	0,001	0,001
PCB 118	0,095	0,057	0,029
PCB 123	0,006	0,002	0,001
PCB 156	0,041	0,018	0,008
PCB 157	0,014	0,005	0,002
PCB 167	0,030	0,012	0,004
PCB 189	0,009	0,003	0,001
Indicator PCBs			
EC-6			
PCB 28	0,014	0,016	0,011
PCB 52	0,022	0,028	0,019
PCB 101	0,089	0,059	0,023
PCB 138	0,769	0,282	0,095
PCB 153	0,531	0,194	0,065
PCB 180	0,322	0,153	0,058
Σ Indicator PCBs	1,75	0,73	0,27
Σ Congeners PCBs(*)	1,89	0,81	0,31
<i>(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.</i>			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,078	0,087	0,058
TETRA - CB	0,091	0,138	0,090
PENTA - CB	0,542	0,336	0,148
ESA - CB	2,223	0,747	0,282
EPTA - CB	0,957	0,402	0,154
Σ Chlorinated Class PCBs	3,89	1,71	0,73
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,34	0,18	0,09
2005 WHO-TEQ	0,31	0,17	0,09
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,34	0,18	0,09
2005 WHO-TEQ	0,31	0,17	0,09
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,34	0,18	0,09
2005 WHO-TEQ	0,31	0,17	0,09

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-164-051212-8	DP-12-165-051212-9	DP-12-166-051212-10
Province of:	PV - FR	PV - LO	BG - CR - LO
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	31-Jan-13	31-Jan-13	31-Jan-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho- PCBs			
PCB-81	0,0002	0,0004	0,0003
PCB-77	0,0028	0,0083	0,0053
PCB-126	0,0009	0,0023	0,0029
PCB-169	0,0003	0,0006	0,0008
Mono-ortho- PCBs			
PCB 105	0,017	0,079	0,055
PCB 114	0,001	0,004	0,002
PCB 118	0,039	0,174	0,122
PCB 123	0,001	0,005	0,005
PCB 156	0,011	0,048	0,033
PCB 157	0,003	0,012	0,010
PCB 167	0,006	0,026	0,021
PCB 189	0,002	0,006	0,005
Indicator PCBs			
EC-6			
PCB 28	0,023	0,021	0,016
PCB 52	0,038	0,047	0,038
PCB 101	0,050	0,124	0,080
PCB 138	0,151	0,545	0,398
PCB 153	0,106	0,410	0,302
PCB 180	0,094	0,307	0,233
Σ Indicator PCBs	0,46	1,45	1,07
Σ Congeners PCBs(*)	0,52	1,69	1,23
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,131	0,105	0,092
TETRA - CB	0,183	0,235	0,174
PENTA - CB	0,285	0,902	0,575
ESA - CB	0,491	1,680	1,188
EPTA - CB	0,257	0,781	0,616
Σ Chlorinated Class PCBs	1,35	3,70	2,64
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,10	0,29	0,34
2005 WHO-TEQ	0,10	0,25	0,32
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,10	0,29	0,34
2005 WHO-TEQ	0,10	0,25	0,32
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,10	0,29	0,34
2005 WHO-TEQ	0,10	0,25	0,32

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-167-051212-11	DP-12-168-051212-13-B	DP-12-169-051212-14
Province of:	BG - CR	BG	BG
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	31-Jan-13	31-Jan-13	31-Jan-13
Concentration:	ng/g		ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho- PCBs			
PCB-81	0,0004	0,0003	0,0003
PCB-77	0,0212	0,0046	0,0061
PCB-126	0,0028	0,0029	0,0042
PCB-169	0,0007	0,0007	0,0012
Mono-ortho- PCBs			
PCB 105	0,068	0,065	0,119
PCB 114	0,002	0,004	0,002
PCB 118	0,129	0,133	0,248
PCB 123	0,005	0,005	0,008
PCB 156	0,045	0,047	0,072
PCB 157	0,011	0,011	0,021
PCB 167	0,024	0,024	0,041
PCB 189	0,007	0,008	0,011
Indicator PCBs			
EC-6			
PCB 28	0,020	0,017	0,018
PCB 52	0,035	0,030	0,051
PCB 101	0,072	0,058	0,193
PCB 138	0,483	0,499	0,698
PCB 153	0,356	0,335	0,566
PCB 180	0,315	0,328	0,385
Σ Indicator PCBs	1,28	1,27	1,91
Σ Congeners PCBs(*)	1,48	1,45	2,24
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,104	0,0893	0,102
TETRA - CB	0,187	0,1546	0,219
PENTA - CB	0,599	0,4776	1,216
ESA - CB	1,374	1,2482	2,229
EPTA - CB	0,783	0,7889	1,021
Σ Chlorinated Class PCBs	3,05	2,76	4,79
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,34	0,35	0,52
2005 WHO-TEQ	0,31	0,32	0,48
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,34	0,35	0,52
2005 WHO-TEQ	0,31	0,32	0,48
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,34	0,35	0,52
2005 WHO-TEQ	0,31	0,32	0,48

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-170-171212-2	DP-12-171-171212-3	DP-12-172-171212-4
Province of:	MI - BG	PV - MI	PV
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Feb-13	6-Feb-13	6-Feb-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho- PCBs			
PCB-81	0,0006	0,0001	0,0005
PCB-77	0,0077	0,0021	0,0205
PCB-126	0,0050	0,0014	0,0029
PCB-169	0,0012	0,0004	0,0007
Mono-ortho- PCBs			
PCB 105	0,157	0,016	0,119
PCB 114	0,006	0,000	0,002
PCB 118	0,360	0,043	0,254
PCB 123	0,011	0,002	0,010
PCB 156	0,101	0,015	0,057
PCB 157	0,026	0,006	0,018
PCB 167	0,058	0,013	0,037
PCB 189	0,014	0,003	0,007
Indicator PCBs			
EC-6			
PCB 28	0,048	0,017	0,048
PCB 52	0,111	0,026	0,056
PCB 101	0,285	0,053	0,130
PCB 138	1,160	0,258	0,712
PCB 153	0,943	0,209	0,604
PCB 180	0,705	0,124	0,333
Σ Indicator PCBs	3,25	0,69	1,88
Σ Congeners PCBs(*)	3,73	0,75	2,22
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,226	0,093	0,207
TETRA - CB	0,729	0,215	0,722
PENTA - CB	1,761	0,285	1,043
ESA - CB	3,039	0,666	1,917
EPTA - CB	1,693	0,346	0,934
Σ Chlorinated Class PCBs	7,45	1,60	4,82
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,63	0,16	0,38
2005 WHO-TEQ	0,56	0,16	0,33
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,63	0,16	0,38
2005 WHO-TEQ	0,56	0,16	0,33
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,63	0,16	0,38
2005 WHO-TEQ	0,56	0,16	0,33

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-173-171212-5	DP-12-174-171212-6	DP-12-175-171212-8-B
Province of:	PV	MI	MI - MB - CO
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Feb-13	6-Feb-13	6-Feb-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho- PCBs			
PCB-81	0,0001	0,0016	0,0002
PCB-77	0,0052	0,0096	0,0042
PCB-126	0,0014	0,0075	0,0030
PCB-169	0,0004	0,0017	0,0009
Mono-ortho- PCBs			
PCB 105	0,028	0,217	0,046
PCB 114	0,000	0,009	0,005
PCB 118	0,075	0,512	0,123
PCB 123	0,004	0,016	0,005
PCB 156	0,020	0,198	0,046
PCB 157	0,007	0,045	0,014
PCB 167	0,015	0,102	0,034
PCB 189	0,003	0,025	0,009
Indicator PCBs			
EC-6			
PCB 28	0,022	0,040	0,023
PCB 52	0,039	0,183	0,043
PCB 101	0,092	0,552	0,131
PCB 138	0,320	1,988	0,806
PCB 153	0,279	1,785	0,576
PCB 180	0,169	1,105	0,544
Σ Indicator PCBs	0,92	5,65	2,12
Σ Congeners PCBs(*)	1,02	6,38	2,30
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,117	0,209	0,127
TETRA - CB	0,304	0,892	0,324
PENTA - CB	0,478	2,975	0,739
ESA - CB	0,878	6,129	1,996
EPTA - CB	0,458	3,116	1,362
Σ Chlorinated Class PCBs	2,24	13,32	4,55
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,17	0,97	0,36
2005 WHO-TEQ	0,16	0,84	0,34
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,17	0,97	0,36
2005 WHO-TEQ	0,16	0,84	0,34
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,17	0,97	0,36
2005 WHO-TEQ	0,16	0,84	0,34

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-176-260313-1	DP-12-177-171212-10	DP-12-178-171212-11
Province of:	LC - BG - CO	LC - SO	CO - LC
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	3-Apr-13	6-Feb-13	6-Feb-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho- PCBs			
PCB-81	0,0006	0,0002	0,0001
PCB-77	0,0098	0,0037	0,0025
PCB-126	0,0055	0,0017	0,0024
PCB-169	0,0013	0,0005	0,0009
Mono-ortho- PCBs			
PCB 105	0,126	0,049	0,041
PCB 114	0,003	0,001	0,004
PCB 118	0,228	0,096	0,086
PCB 123	0,008	0,004	0,008
PCB 156	0,072	0,037	0,061
PCB 157	0,020	0,010	0,026
PCB 167	0,042	0,022	0,057
PCB 189	0,010	0,006	0,011
Indicator PCBs			
EC-6			
PCB 28	0,029	0,023	0,021
PCB 52	0,054	0,038	0,035
PCB 101	0,156	0,089	0,056
PCB 138	0,769	0,467	0,929
PCB 153	0,603	0,386	0,812
PCB 180	0,441	0,291	0,436
Σ Indicator PCBs	2,05	1,29	2,29
Σ Congeners PCBs(*)	2,37	1,43	2,44
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,141	0,121	0,111
TETRA - CB	0,390	0,291	0,238
PENTA - CB	1,096	0,593	0,464
ESA - CB	2,179	1,364	2,182
EPTA - CB	1,141	0,769	1,050
Σ Chlorinated Class PCBs	4,95	3,14	4,05
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,65	0,22	0,31
2005 WHO-TEQ	0,61	0,20	0,27
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,65	0,22	0,31
2005 WHO-TEQ	0,61	0,20	0,27
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,65	0,22	0,31
2005 WHO-TEQ	0,61	0,20	0,27

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	DP-12-179-171212-12	DP-12-180-171212-13	DP-12-181-171212-14
Province of:	CO -VA	VA	VA
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Feb-13	6-Feb-13	6-Feb-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho- PCBs			
PCB-81	0,0003	0,0003	0,0002
PCB-77	0,0047	0,0034	0,0022
PCB-126	0,0026	0,0033	0,0025
PCB-169	0,0009	0,0014	0,0009
Mono-ortho- PCBs			
PCB 105	0,061	0,035	0,034
PCB 114	0,002	0,001	0,001
PCB 118	0,148	0,089	0,062
PCB 123	0,005	0,005	0,003
PCB 156	0,048	0,053	0,041
PCB 157	0,013	0,015	0,011
PCB 167	0,032	0,035	0,026
PCB 189	0,008	0,011	0,008
Indicator PCBs			
EC-6			
PCB 28	0,032	0,023	0,020
PCB 52	0,050	0,039	0,032
PCB 101	0,196	0,127	0,055
PCB 138	0,719	0,845	0,490
PCB 153	0,578	0,648	0,404
PCB 180	0,421	0,651	0,329
Σ Indicator PCBs	2,00	2,33	1,33
Σ Congeners PCBs(*)	2,20	2,48	1,44
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,158	0,157	0,114
TETRA - CB	0,432	0,282	0,227
PENTA - CB	1,016	0,707	0,357
ESA - CB	1,939	2,259	1,223
EPTA - CB	1,020	1,629	0,835
Σ Chlorinated Class PCBs	4,57	5,03	2,76
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,33	0,39	0,30
2005 WHO-TEQ	0,30	0,38	0,28
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,33	0,39	0,30
2005 WHO-TEQ	0,30	0,38	0,28
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,33	0,39	0,30
2005 WHO-TEQ	0,30	0,38	0,28

APPENDICE D: Risultati OCPs

Pool Lab. Code:	OCP-12-143-281112-1	OCP-12-144-281112-2	OCP-12-145-281112-3
Province of:	MN	MN - FR	MN
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50,00	50	50
Data analysed:	31-May-13	31-May-13	31-May-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,111	0,157	0,129
HCBz	0,825	1,026	0,835
a-HCH	0,046	0,384	0,026
b-HCH	0,041	0,328	0,048
g-HCH	0,043	0,184	0,363
d-HCH	<0,0015	0,122	0,011
e-HCH	<0,0015	0,015	<0,0015
Sum-HCHs	0,130	1,03	0,448
trans-chlordane	0,074	0,250	0,069
cis-chlordane	0,025	0,099	0,023
Sum-Chlordane	0,099	0,349	0,092
Oxychlordane	0,012	0,047	0,022
Aldrin	0,012	0,056	0,005
Dieldrin	0,276	1,82	0,027
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,288	1,88	0,032
op-DDE	0,025	0,017	0,005
pp-DDE	1,821	0,482	0,202
op-DDD	0,015	0,014	0,011
pp-DDD	0,103	0,045	0,071
op-DDT	0,145	0,164	0,024
pp-DDT	1,330	0,878	0,089
Sum-DDT total	3,44	1,60	0,403
Heptachlor	0,008	0,040	0,024
Heptachlor-exo-epoxide	0,067	0,257	0,113
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,067	0,257	0,113
trans-nonachlor	0,185	0,280	0,246
cis-nonachlor	0,038	0,059	0,040
Sum-nonachlor	0,224	0,339	0,285
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,019	0,017	0,015
Sum-Endosulfanes	0,019	0,017	0,015
Endosulfane-sulphate	0,008	0,007	0,004
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,0020	0,0014	0,0011

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-146-281112-4	OCP-12-147-281112-5	OCP-12-148-281112-6
Province of:	MN	MN	MN
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	31-May-13	31-May-13	31-May-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,049	0,072	0,121
HCBz	0,264	0,093	0,270
a-HCH	0,039	0,049	0,06
b-HCH	0,079	0,120	<0,0015
g-HCH	0,044	0,062	0,82
d-HCH	0,011	0,017	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,173	0,248	0,88
trans-chlordane	0,030	0,066	0,082
cis-chlordane	0,009	0,023	0,022
Sum-Chlordane	0,039	0,088	0,104
Oxychlordane	0,012	0,019	0,022
Aldrin	<0,001	0,028	0,011
Dieldrin	0,012	0,095	0,048
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,012	0,123	0,058
op-DDE	0,003	0,004	0,003
pp-DDE	0,163	0,130	0,061
op-DDD	0,003	0,006	0,003
pp-DDD	0,013	0,019	0,012
op-DDT	0,019	0,020	0,021
pp-DDT	0,092	0,067	0,044
Sum-DDT total	0,293	0,246	0,144
Heptachlor	0,008	0,021	0,028
Heptachlor-exo-epoxide	0,044	0,104	0,097
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,044	0,104	0,097
trans-nonachlor	0,084	0,566	0,273
cis-nonachlor	0,011	0,106	0,020
Sum-nonachlor	0,095	0,672	0,293
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,015	0,025	0,030
Sum-Endosulfanes	0,015	0,025	0,030
Endosulfane-sulphate	0,002	0,016	0,016
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,0010	0,0014	0,0012

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-149-281112-7	OCP-12-150-281112-8	OCP-12-151-281112-9
Province of:	MN	MN	MN - CR
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	31-May-13	1-Jun-13	1-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,057	0,046	0,065
HCBz	0,374	0,108	0,185
a-HCH	0,082	0,053	0,047
b-HCH	0,144	0,138	0,085
g-HCH	0,063	0,041	0,048
d-HCH	0,053	0,022	0,022
e-HCH	0,008	0,004	<0,0015
Sum-HCHs	0,351	0,258	0,201
trans-chlordane	0,101	0,074	0,066
cis-chlordane	0,028	0,019	0,020
Sum-Chlordane	0,129	0,093	0,085
Oxychlordane	0,021	0,020	0,019
Aldrin	0,003	0,027	0,003
Dieldrin	0,015	0,057	0,024
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,018	0,084	0,027
op-DDE	0,005	0,003	0,009
pp-DDE	0,205	0,091	0,480
op-DDD	0,005	0,004	0,006
pp-DDD	0,016	0,014	0,020
op-DDT	0,021	0,016	0,047
pp-DDT	0,114	0,078	0,267
Sum-DDT total	0,366	0,205	0,830
Heptachlor	0,038	0,019	0,016
Heptachlor-exo-epoxide	0,109	0,082	0,089
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,109	0,082	0,089
trans-nonachlor	0,420	0,267	0,225
cis-nonachlor	0,055	0,038	0,042
Sum-nonachlor	0,475	0,305	0,268
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,064	0,017	0,040
Sum-Endosulfanes	0,064	0,017	0,040
Endosulfane-sulphate	0,034	0,017	0,011
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,0009	0,0009	0,0011

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-152-281112-10	OCP-12-153-281112-11	OCP-12-154-281112-12
Province of:	CR	CR	CR - BS
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	1-Jun-13	1-Jun-13	1-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,110	0,055	0,043
HCBz	0,085	0,080	0,073
a-HCH	0,037	0,032	0,007
b-HCH	0,078	0,056	0,009
g-HCH	0,031	0,037	0,016
d-HCH	0,016	0,014	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,162	0,139	0,032
trans-chlordane	0,105	0,123	0,058
cis-chlordane	0,047	0,070	0,019
Sum-Chlordane	0,152	0,193	0,077
Oxychlordane	0,031	0,160	0,022
Aldrin	0,115	0,005	0,017
Dieldrin	0,349	0,039	0,064
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,464	0,044	0,081
op-DDE	0,012	0,005	0,005
pp-DDE	1,11	0,127	0,087
op-DDD	0,006	0,007	0,003
pp-DDD	0,025	0,025	0,008
op-DDT	0,063	0,022	0,025
pp-DDT	0,342	0,069	0,048
Sum-DDT total	1,56	0,255	0,176
Heptachlor	0,022	0,048	0,021
Heptachlor-exo-epoxide	0,462	1,49	0,162
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,462	1,49	0,162
trans-nonachlor	0,437	1,00	0,305
cis-nonachlor	0,079	0,157	0,034
Sum-nonachlor	0,516	1,16	0,339
Endosulfane-alpha	<0,015	0,046	<0,015
Endosulfane-beta	0,016	0,044	0,017
Sum-Endosulfanes	0,016	0,090	0,017
Endosulfane-sulphate	0,003	0,008	0,002
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,0009	0,0013	0,0009

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-155-281112-13	OCP-12-156-281112-14	OCP-12-157-051212-1
Province of:	BS - MN	BS	BS - MN
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	1-Jun-13	1-Jun-13	1-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,092	0,048	0,103
HCBz	0,092	0,073	0,179
a-HCH	0,028	0,012	0,044
b-HCH	0,069	0,009	0,058
g-HCH	0,056	0,029	0,059
d-HCH	0,007	0,003	0,012
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,160	0,053	0,173
trans-chlordane	0,025	0,004	0,005
cis-chlordane	0,009	0,003	0,004
Sum-Chlordane	0,035	0,007	0,009
Oxychlordane	0,007	0,002	0,002
Aldrin	0,011	<0,001	0,631
Dieldrin	0,026	0,012	0,636
Endrin	<0,002	<0,002	0,007
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,037	0,013	1,27
op-DDE	0,006	0,011	0,005
pp-DDE	0,188	0,673	0,149
op-DDD	0,021	0,008	0,007
pp-DDD	0,038	0,024	0,016
op-DDT	0,021	0,061	0,033
pp-DDT	0,054	0,233	0,071
Sum-DDT total	0,328	1,01	0,281
Heptachlor	0,005	<0,0008	0,002
Heptachlor-exo-epoxide	0,036	0,008	0,009
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,036	0,008	0,009
trans-nonachlor	0,122	0,018	0,026
cis-nonachlor	0,016	0,003	0,007
Sum-nonachlor	0,139	0,021	0,033
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,013	0,011	0,015
Sum-Endosulfanes	0,013	0,011	0,015
Endosulfane-sulphate	0,005	0,002	0,006
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,0015	0,0012	0,002

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-158-051212-2	OCP-12-159-051212-3-B	OCP-12-160-051212-4-B
Province of:	BS	BS	BS
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	1-Jun-13	7-Jun-13	7-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,128	0,106	0,077
HCBz	0,249	0,062	0,367
a-HCH	0,005	0,005	0,007
b-HCH	0,005	0,008	0,006
g-HCH	0,040	0,050	0,049
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,049	0,064	0,061
trans-chlordane	0,003	0,013	0,008
cis-chlordane	0,002	0,003	0,004
Sum-Chlordane	0,006	0,016	0,012
Oxychlordane	0,001	0,002	0,003
Aldrin	0,002	0,022	0,008
Dieldrin	0,013	0,045	0,087
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,015	0,068	0,095
op-DDE	0,007	0,002	0,536
pp-DDE	0,553	0,093	75,03
op-DDD	0,008	0,006	0,279
pp-DDD	0,025	0,016	0,603
op-DDT	0,055	0,029	8,00
pp-DDT	0,225	0,063	24,75
Sum-DDT total	0,874	0,208	109,20
Heptachlor	0,002	0,010	0,004
Heptachlor-exo-epoxide	0,003	0,009	0,013
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,003	0,009	0,013
trans-nonachlor	0,008	0,009	0,021
cis-nonachlor	0,003	0,003	0,006
Sum-nonachlor	0,011	0,012	0,027
Endosulfane-alpha	0,065	<0,015	0,024
Endosulfane-beta	0,032	0,008	0,011
Sum-Endosulfanes	0,097	0,008	0,035
Endosulfane-sulphate	0,002	0,002	0,008
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,001	0,001

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-161-051212-5-B	OCP-12-162-051212-6-B	OCP-12-163-051212-7-B
Province of:	BS	CR - LO	PV
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	7-Jun-13	7-Jun-13	7-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,177	0,148	0,118
HCBz	0,159	0,080	0,686
a-HCH	0,009	0,009	0,006
b-HCH	0,006	0,022	0,004
g-HCH	0,047	0,049	0,040
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,062	0,080	0,050
trans-chlordane	0,010	0,014	0,008
cis-chlordane	0,004	0,007	0,003
Sum-Chlordane	0,014	0,021	0,010
Oxychlordane	0,004	0,008	<0,0005
Aldrin	0,047	0,033	<0,001
Dieldrin	0,214	3,61	0,011
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,261	3,64	0,011
op-DDE	0,006	0,007	0,013
pp-DDE	0,357	0,205	0,316
op-DDD	0,017	0,007	0,005
pp-DDD	0,060	0,018	0,012
op-DDT	0,049	0,034	0,150
pp-DDT	0,231	0,110	0,253
Sum-DDT total	0,719	0,380	0,749
Heptachlor	0,002	0,004	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,010	0,067	0,003
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,010	0,067	0,003
trans-nonachlor	0,038	0,042	0,006
cis-nonachlor	0,011	0,008	<0,0006
Sum-nonachlor	0,049	0,050	0,006
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,010	0,012	0,008
Sum-Endosulfanes	0,010	0,012	0,008
Endosulfane-sulphate	0,003	0,004	0,001
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,001	0,001

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-164-051212-8-B	OCP-12-165-051212-9-B	OCP-12-166-051212-10-B
Province of:	PV - FR	PV - LO	BG - CR - LO
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	7-Jun-13	7-Jun-13	7-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,165	0,082	0,188
HCBz	0,343	0,243	0,304
a-HCH	0,005	0,011	0,031
b-HCH	0,005	0,024	1,29
g-HCH	0,050	0,055	0,086
d-HCH	<0,0015	0,004	0,020
e-HCH	<0,0015	<0,0015	0,045
Sum-HCHs	0,060	0,096	1,47
trans-chlordane	0,011	0,030	0,167
cis-chlordane	0,005	0,019	0,106
Sum-Chlordane	0,016	0,049	0,273
Oxychlordane	0,002	0,032	0,190
Aldrin	<0,001	0,054	0,050
Dieldrin	0,019	1,90	0,385
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,019	1,96	0,435
op-DDE	0,008	0,010	0,005
pp-DDE	0,162	0,374	0,217
op-DDD	0,006	0,028	0,005
pp-DDD	0,008	0,043	0,018
op-DDT	0,056	0,030	0,036
pp-DDT	0,149	0,130	0,120
Sum-DDT total	0,389	0,615	0,400
Heptachlor	0,002	0,004	0,049
Heptachlor-exo-epoxide	0,011	0,320	1,82
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,011	0,320	1,82
trans-nonachlor	0,012	0,053	0,713
cis-nonachlor	0,004	0,014	0,117
Sum-nonachlor	0,016	0,067	0,830
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,009	0,021	0,009
Sum-Endosulfanes	0,009	0,021	0,009
Endosulfane-sulphate	0,003	0,016	0,002
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,001	0,002	0,002

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-167-051212-11	OCP-12-168-051212-13-B	OCP-12-169-051212-14
Province of:	BG - CR	BG	BG
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	5-Jun-13	8-Jun-13	5-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,120	0,072	0,075
HCBz	0,270	0,312	0,370
a-HCH	0,005	0,006	0,011
b-HCH	0,008	0,005	0,010
g-HCH	0,034	0,037	0,049
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,046	0,048	0,070
trans-chlordane	0,007	0,003	0,004
cis-chlordane	0,004	0,002	0,003
Sum-Chlordane	0,011	0,004	0,007
Oxychlordane	0,002	<0,0005	0,003
Aldrin	<0,001	<0,001	0,002
Dieldrin	0,018	0,015	0,041
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	<0,001	0,015	0,043
op-DDE	0,007	0,003	0,009
pp-DDE	0,287	0,156	0,508
op-DDD	0,197	0,004	0,013
pp-DDD	0,034	0,015	0,035
op-DDT	0,027	0,029	0,060
pp-DDT	0,149	0,079	0,296
Sum-DDT total	0,701	0,285	0,921
Heptachlor	<0,0008	<0,0008	0,002
Heptachlor-exo-epoxide	0,006	0,004	0,010
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoixides	0,006	0,004	0,010
trans-nonachlor	0,013	0,008	0,014
cis-nonachlor	0,004	<0,0006	0,003
Sum-nonachlor	0,017	0,008	0,017
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,009	0,008	0,012
Sum-Endosulfanes	0,009	0,008	0,012
Endosulfane-sulphate	0,002	0,001	0,003
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,001	0,002

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-170-171212	OCP-12-171-171212-3	OCP-12-172-171212-4
Province of:	MI - BG	PV - MI	PV
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	5-Jun-13	5-Jun-13	5-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,246	0,103	0,282
HCBz	0,654	0,093	0,117
a-HCH	0,014	0,008	0,005
b-HCH	0,009	0,006	0,004
g-HCH	0,061	0,039	0,045
d-HCH	0,003	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,085	0,053	0,054
trans-chlordane	0,055	0,005	0,007
cis-chlordane	0,042	0,006	0,006
Sum-Chlordane	0,097	0,010	0,013
Oxychlordane	0,033	0,004	0,003
Aldrin	0,003	0,004	0,031
Dieldrin	0,025	0,037	0,220
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,028	0,041	0,250
op-DDE	0,249	0,003	0,007
pp-DDE	2,75	0,098	0,184
op-DDD	0,019	0,007	0,010
pp-DDD	0,079	0,017	0,033
op-DDT	0,065	0,021	0,085
pp-DDT	0,371	0,076	0,165
Sum-DDT total	3,53	0,222	0,484
Heptachlor	0,016	<0,0008	0,002
Heptachlor-exo-epoxide	0,452	0,010	0,006
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,452	0,010	0,006
trans-nonachlor	0,136	0,045	0,020
cis-nonachlor	0,036	0,015	0,005
Sum-nonachlor	0,173	0,060	0,026
Endosulfane-alpha	0,065	0,040	<0,015
Endosulfane-beta	0,020	0,010	0,010
Sum-Endosulfanes	0,086	0,050	0,010
Endosulfane-sulphate	0,044	0,003	0,007
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,001	0,002

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-173-171212-5	OCP-12-174-171212-6	OCP-12-175-171212
Province of:	PV	MI	MI - MB - CO
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	8-Jun-13	8-Jun-13	8-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,090	0,209	0,095
HCBz	0,124	0,184	0,338
a-HCH	0,006	0,007	0,006
b-HCH	0,013	0,006	0,005
g-HCH	0,042	0,059	0,049
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,060	0,072	0,060
trans-chlordane	0,011	0,025	0,005
cis-chlordane	0,008	0,016	0,003
Sum-Chlordane	0,019	0,041	0,009
Oxychlordane	0,002	0,039	0,005
Aldrin	<0,001	0,002	<0,001
Dieldrin	0,015	0,032	0,027
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,015	0,034	0,027
op-DDE	0,020	0,006	0,010
pp-DDE	0,304	0,265	1,74
op-DDD	0,011	0,011	0,011
pp-DDD	0,021	0,037	0,052
op-DDT	0,025	0,046	0,112
pp-DDT	0,087	0,188	0,754
Sum-DDT total	0,468	0,553	2,68
Heptachlor	0,002	0,005	0,002
Heptachlor-exo-epoxide	0,006	0,191	0,008
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,006	0,191	0,008
trans-nonachlor	0,015	0,105	0,020
cis-nonachlor	0,005	0,024	0,007
Sum-nonachlor	0,020	0,129	0,027
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	0,073
Endosulfane-beta	0,011	0,009	0,010
Sum-Endosulfanes	0,011	0,009	0,083
Endosulfane-sulphate	0,004	0,003	0,007
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,001	0,002	0,002

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-176-260313	OCP-12-177-171212-10	OCP-12-178-171212-3
Province of:	LC - BG - CO	LC - SO	CO - LC
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	28-May-13	8-Jun-13	8-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,391	0,111	0,083
HCBz	0,418	0,080	0,066
a-HCH	0,008	0,004	0,005
b-HCH	0,009	0,003	0,003
g-HCH	0,072	0,045	0,042
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,089	0,052	0,050
trans-chlordane	0,006	0,012	0,004
cis-chlordane	0,004	0,009	0,002
Sum-Chlordane	0,010	0,021	0,006
Oxychlordane	0,005	0,006	<0,0005
Aldrin	0,002	<0,001	<0,001
Dieldrin	0,030	0,022	0,016
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,031	0,022	0,016
op-DDE	0,005	0,198	0,004
pp-DDE	0,292	2,58	0,227
op-DDD	0,008	0,159	0,005
pp-DDD	0,025	0,342	0,027
op-DDT	0,036	1,60	0,068
pp-DDT	0,180	1,63	0,302
Sum-DDT total	0,547	6,50	0,634
Heptachlor	0,002	0,002	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,014	0,028	0,003
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,014	0,028	0,003
trans-nonachlor	0,023	0,037	0,008
cis-nonachlor	0,011	0,023	0,002
Sum-nonachlor	0,035	0,060	0,010
Endosulfane-alpha	0,060	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,069	0,041	0,009
Sum-Endosulfanes	0,128	0,041	0,009
Endosulfane-sulphate	0,250	0,121	0,002
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,003	0,004	0,002

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	OCP-12-179-171212-12	OCP-12-180-171212-13	OCP-12-181-171212-14
Province of:	CO - VA	VA	VA
Type of sample:	Soil pooled	Soil pooled	Soil pooled
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	8-Jun-13	8-Jun-13	8-Jun-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,081	0,190	0,101
HCBz	0,299	0,523	0,498
a-HCH	0,015	0,087	0,005
b-HCH	0,019	0,070	0,004
g-HCH	0,051	0,109	0,045
d-HCH	0,005	0,060	<0,0015
e-HCH	<0,0015	0,007	<0,0015
Sum-HCHs	0,091	0,332	0,054
trans-chlordane	0,072	1,18	0,012
cis-chlordane	0,025	0,486	0,005
Sum-Chlordane	0,096	1,67	0,017
Oxychlordane	0,060	0,440	0,004
Aldrin	0,025	0,649	0,005
Dieldrin	0,418	101,30	0,204
Endrin	<0,002	0,623	<0,002
Isodrin	<0,005	0,014	<0,005
Sum-Drins	0,443	102,58	0,209
op-DDE	0,040	0,052	0,003
pp-DDE	4,71	8,68	0,129
op-DDD	0,228	0,043	0,010
pp-DDD	0,636	0,256	0,041
op-DDT	0,626	0,848	0,043
pp-DDT	2,89	4,87	0,095
Sum-DDT total	9,12	14,76	0,320
Heptachlor	0,038	0,136	0,003
Heptachlor-exo-epoxide	0,244	4,17	0,028
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,244	4,17	0,028
trans-nonachlor	0,066	0,651	0,017
cis-nonachlor	0,021	0,153	0,004
Sum-nonachlor	0,087	0,804	0,021
Endosulfane-alpha	0,069	0,113	<0,015
Endosulfane-beta	0,041	0,080	0,012
Sum-Endosulfanes	0,110	0,193	0,012
Endosulfane-sulphate	0,101	0,289	0,003
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,003	0,004

APPENDICE E: Risultati PBDEs

Pool Lab. Code:	BR-12-143-281112-1	BR-12-144-281112-2	BR-12-145-281112-3
Province of:	MN	MN - FR	MN
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	4-Mar-13	4-Mar-13	4-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,029	0,011	0,011
BDE-99	0,045	0,009	0,009
BDE-100	0,010	0,002	0,003
BDE-153	0,006	0,002	0,002
BDE-154	0,005	0,002	0,002
BDE-183	0,002	0,002	0,002
BDE-209	0,19	1,55	0,234
Total PENTA Formulated	0,095	0,025	0,026
Total OCTA Formulated	0,002	0,002	0,002
Total DECA Formulated	0,19	1,55	0,23

Pool Lab. Code:	BR-12-146-281112-4	BR-12-147-281112-5	BR-12-148-281112-6
Province of:	MN	MN	MN
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	4-Mar-13	4-Mar-13	4-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,009	0,014	0,011
BDE-99	0,007	0,013	0,010
BDE-100	0,002	0,005	0,004
BDE-153	0,002	0,004	0,002
BDE-154	0,001	0,004	0,003
BDE-183	0,002	0,004	0,002
BDE-209	0,25	0,58	0,22
Total PENTA Formulated	0,021	0,040	0,029
Total OCTA Formulated	0,002	0,004	0,002
Total DECA Formulated	0,25	0,58	0,22

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	BR-12-149-281112-7	BR-12-150-281112-8	BR-12-151-281112-9
Province of:	MN	MN	MN - CR
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	4-Mar-13	4-Mar-13	4-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,009	0,011	0,015
BDE-99	0,010	0,016	0,012
BDE-100	0,002	0,004	0,004
BDE-153	0,002	0,004	0,003
BDE-154	0,002	0,004	0,003
BDE-183	0,002	0,002	0,003
BDE-209	0,20	0,34	0,90
Total PENTA Formulated	0,026	0,040	0,038
Total OCTA Formulated	0,002	0,002	0,003
Total DECA Formulated	0,20	0,34	0,90

Pool Lab. Code:	BR-12-152-281112-10	BR-12-153-260613-3	BR-12-154-281112-12
Province of:	CR	CR	CR - BS
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	10	50
Data analysed:	4-Mar-13	16-Oct-13	5-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,008	0,009	0,011
BDE-99	0,007	0,011	0,011
BDE-100	0,002	0,006	0,005
BDE-153	0,002	0,003	0,014
BDE-154	0,002	0,004	0,006
BDE-183	0,002	0,005	0,14
BDE-209	0,35	0,35	0,30
Total PENTA Formulated	0,021	0,033	0,047
Total OCTA Formulated	0,002	0,005	0,14
Total DECA Formulated	0,35	0,35	0,30

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	BR-12-155-281112-13	BR-12-156-281112-14	BR-12-157-260613-4
Province of:	BS - MN	BS	BS - MN
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	10
Data analysed:	6-Mar-13	7-Mar-13	16-Oct-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,017	0,015	0,017
BDE-99	0,014	0,024	0,013
BDE-100	0,005	0,008	0,007
BDE-153	0,004	0,004	0,003
BDE-154	0,004	0,006	0,006
BDE-183	0,002	0,003	0,007
BDE-209	2,61	0,62	0,50
Total PENTA Formulated	0,043	0,056	0,046
Total OCTA Formulated	0,002	0,003	0,007
Total DECA Formulated	2,61	0,62	0,50

Pool Lab. Code:	BR-12-158-051212-2	BR-12-159-051212-3	BR-12-160-051212-4
Province of:	BS	BS	BS
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	7-Mar-13	7-Mar-13	7-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,060	0,007	0,009
BDE-99	0,063	0,008	0,008
BDE-100	0,022	0,003	0,004
BDE-153	0,014	0,006	0,002
BDE-154	0,012	0,003	0,003
BDE-183	0,011	0,002	0,003
BDE-209	0,56	0,13	0,76
Total PENTA Formulated	0,17	0,027	0,025
Total OCTA Formulated	0,011	0,002	0,003
Total DECA Formulated	0,56	0,13	0,76

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	BR-12-161-051212-5	BR-12-162-051212-6	BR-12-163-051212-7
Province of:	BS	CR - LO	PV
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	7-Mar-13	5-Mar-13	5-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,022	0,010	0,007
BDE-99	0,020	0,010	0,006
BDE-100	0,008	0,003	0,002
BDE-153	0,005	0,003	0,001
BDE-154	0,005	0,003	0,001
BDE-183	0,008	0,002	0,001
BDE-209	0,66	1,02	0,110
Total PENTA Formulated	0,061	0,028	0,017
Total OCTA Formulated	0,008	0,002	0,001
Total DECA Formulated	0,66	1,02	0,110

Pool Lab. Code:	BR-12-164-051212-18-B	BR-12-165-260613	BR-12-166-051212-10
Province of:	PV - FR	PV - LO	BG - CR - LO
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	12-Mar-13		5-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,014	0,051	0,014
BDE-99	0,015	0,075	0,015
BDE-100	0,004	0,024	0,006
BDE-153	0,003	0,026	0,006
BDE-154	0,002	0,018	0,006
BDE-183	0,003	0,029	0,009
BDE-209	0,20	30,8	1,20
Total PENTA Formulated	0,037	0,19	0,048
Total OCTA Formulated	0,003	0,029	0,009
Total DECA Formulated	0,20	30,8	1,20

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	BR-12-167-051212	BR-12-168-051212	BR-12-169-051212-14
Province of:	BG - CR	BG	BG
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:		5-Mar-13	5-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	0,002	<0,001	0,002
BDE-47	0,066	0,013	0,30
BDE-99	0,086	0,009	0,47
BDE-100	0,024	0,004	0,12
BDE-153	0,072	0,003	0,070
BDE-154	0,025	0,005	0,063
BDE-183	0,032	0,006	0,023
BDE-209	32,7	0,57	6,27
Total PENTA Formulated	0,28	0,035	1,03
Total OCTA Formulated	0,032	0,006	0,023
Total DECA Formulated	32,7	0,57	6,27

Pool Lab. Code:	BR-12-170-171212-1	BR-12-171-171212-3	BR-12-172-171212-4
Province of:	MI - BG	PV - MI	PV
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Mar-13	6-Mar-13	6-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	0,001	<0,001	0,001
BDE-47	0,045	0,010	0,070
BDE-99	0,052	0,010	0,10
BDE-100	0,018	0,005	0,056
BDE-153	0,025	0,002	0,027
BDE-154	0,023	0,003	0,036
BDE-183	0,070	0,006	0,006
BDE-209	3,694	0,24	0,68
Total PENTA Formulated	0,17	0,030	0,29
Total OCTA Formulated	0,070	0,006	0,006
Total DECA Formulated	3,69	0,24	0,68

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	BR-12-173-171212-5	BR-12-174-171212-6	BR-12-175-171212
Province of:	PV	MI	MI - MB - CO
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	
Data analysed:	6-Mar-13	6-Mar-13	
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,017	0,023	0,036
BDE-99	0,013	0,024	0,040
BDE-100	0,006	0,014	0,014
BDE-153	0,004	0,008	0,011
BDE-154	0,004	0,010	0,010
BDE-183	0,002	0,008	0,013
BDE-209	0,63	1,02	17,0
Total PENTA Formulated	0,043	0,079	0,110
Total OCTA Formulated	0,002	0,008	0,013
Total DECA Formulated	0,63	1,02	17,0

Pool Lab. Code:	BR-12-176-171212-9	BR-12-177-171212-10	BR-12-178-171212-11
Province of:	LC - BG - CO	LC - SO	CO - LC
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Mar-13	6-Mar-13	12-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,035	0,038	0,009
BDE-99	0,029	0,046	0,010
BDE-100	0,014	0,016	0,006
BDE-153	0,009	0,010	0,004
BDE-154	0,009	0,010	0,005
BDE-183	0,016	0,007	0,005
BDE-209	1,36	0,41	0,56
Total PENTA Formulated	0,096	0,12	0,034
Total OCTA Formulated	0,016	0,007	0,005
Total DECA Formulated	1,36	0,41	0,56

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Pool Lab. Code:	BR-12-179-171212-12	BR-12-180-171212-13	BR-12-181-171212-14
Province of:	CO - VA	VA	VA
Type of sample:	Pool	Pool	Pool
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	6-Mar-13	6-Mar-13	12-Mar-13
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,033	0,036	0,017
BDE-99	0,041	0,052	0,026
BDE-100	0,013	0,018	0,019
BDE-153	0,014	0,011	0,009
BDE-154	0,010	0,013	0,012
BDE-183	0,026	0,011	0,011
BDE-209	2,34	1,93	0,78
Total PENTA Formulated	0,11	0,13	0,083
Total OCTA Formulated	0,026	0,011	0,011
Total DECA Formulated	2,34	1,93	0,78

APPENDICE F: Annesso informativo, estratto dal Decreto DL 152-2006

Concentrazione soglia di contaminazione nel suolo, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee in relazione alla specifica destinazione d'uso dei siti.

Tabella 1: Concentrazione soglia di contaminazione nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare

	<i>A</i> <i>Siti ad uso Verde pubblico, privato e</i> <i>residenziale</i> <i>(mg kg⁻¹ espressi come ss)</i>	<i>B</i> <i>Siti ad uso Commerciale e</i> <i>Industriale</i> <i>(mg kg⁻¹ espressi come ss)</i>
Composti inorganici		
Antimonio	10	30
Arsenico	20	50
Berillio	2	10
Cadmio	2	15
Cobalto	20	250
Cromo totale	150	800
Cromo VI	2	15
Mercurio	1	5
Nichel	120	500
Piombo	100	1000
Rame	120	600
Selenio	3	15
Stagno	1	350
Tallio	1	10
Vanadio	90	250
Zinco	150	1500
Cianuri (liberi)	1	100
Fluoruri	100	2000
Aromatici		
Benzene	0,1	2
Etilbenzene	0,5	50
Stirene	0,5	50
Toluene	0,5	50
Xilene	0,5	50
Sommatoria organici aromatici (da 20 a 23)	1	100
Aromatici policiclici(1)		
Benzo(a)antracene	0,5	10
Benzo(a)pirene	0,1	10
Benzo(b)fluorantene	0,5	10
Benzo(k)fluorantene	0,5	10
Benzo(g, h, i)terilene	0,1	10
Crisene	5	50
Dibenzo(a,e)pirene	0,1	10
Dibenzo(a,l)pirene	0,1	10
Dibenzo(a,i)pirene	0,1	10
Dibenzo(a,h)pirene.	0,1	10
Dibenzo(a,h)antracene	0,1	10
Indenopirene	0,1	5
Pirene	5	50
Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34)	10	100
Alifatici clorurati cancerogeni (1)		
Clorometano	0,1	5
Diclorometano	0,1	5
Triclorometano	0,1	5
Cloruro di Vinile	0,01	0,1
1,2-Dicloroetano	0,2	5

1,1 Dicloroetilene	0,1	1
Tricloroetilene	1	10
Tetracloroetilene (PCE)	0,5	20
Alifatici clorurati non cancerogeni (1)		
1,1-Dicloroetano	0,5	30
1,2-Dicloroetilene	0,3	15
1,1,1-Tricloroetano	0,5	50
1,2-Dicloropropano	0,3	5
1,1,2-Tricloroetano	0,5	15
1,2,3-Tricloropropano	1	10
1,1,2,2-Tetracloroetano	0,5	10
Alifatici alogenati Cancerogeni (1)		
Tribromometano(bromoformio)	0,5	10
1,2-Dibromoetano	0,01	0,1
Dibromoclorometano	0,5	10
Bromodiclorometano	0,5	10
Nitrobenzeni		
Nitrobenzene	0,5	30
1,2-Dinitrobenzene	0,1	25
1,3-Dinitrobenzene	0,1	25
Cloronitrobenzeni	0,1	10
Clorobenzeni (1)		
Monoclorobenzene	0,5	50
Diclorobenzeni non cancerogeni (1,2-diclorobenzene)	1	50
Diclorobenzeni cancerogeni (1,4 - diclorobenzene)	0,1	10
1,2,4 -triclorobenzene	1	50
1,2,4,5-tetracloro-benzene	1	25
Pentaclorobenzene	0,1	50
Esaclorobenzene	0,05	5
Fenoli non clorurati (1)		
Metilfenolo(o-, m-, p-)	0,1	25
Fenolo	1	60
Fenoli clorurati (1)		
2-clorofenolo	0,5	25
2,4-diclorofenolo	0,5	50
2,4,6 - triclorofenolo	0,01	5
Pentaclorofenolo	0,01	5
Ammine Aromatiche (1)		
Anilina	0,05	5
o-Anisidina	0,1	10
m,p-Anisidina	0,1	10
Difenilamina	0,1	10
p-Toluidina	0,1	5
Sommatoria Ammine Aromatiche (da 73 a 77)	0,5	25
Fitofarmaci		
Alaclor	0,01	1
Aldrin	0,01	0,1
Atrazina	0,01	1
α-esacloroetano	0,01	0,1
β-esacloroetano	0,01	0,5
γ-esacloroetano (Lindano)	0,01	0,5
Clordano	0,01	0,1
DDD, DDT, DDE	0,01	0,1
Dieldrin	0,01	0,1
Endrin	0,01	2
Diossine e furani		
Sommatoria PCDD, PCDF (conversione T.E.)	1x10-5	1x10-4
PCB	0,06	5
Idrocarburi		
Idrocarburi Leggeri C inferiore o	10	250

uguale a 12		
Idrocarburi pesanti C superiore a 12	50	750
<i>Altre sostanze</i>		
Amianto	1000 (*)	1000 (*)
Esteri dell'acido ftalico (ognuno)	10	60

(1) In Tabella sono selezionate, per ogni categoria chimica, alcune sostanze frequentemente rilevate nei siti contaminati. Per le sostanze non esplicitamente indicate in Tabella i valori di concentrazione limite accettabili sono ricavati adottando quelli indicati per la sostanza

Tab. 2/A Standard di qualità nei sedimenti

NUMERO CAS	PARAMETRI	SQA-MA (1) (2)
	Metalli	mg kg ⁻¹ s.s
7440-43-9	Cadmio	0,3
7439-97-6	Mercurio	0,3
7440-02-0	Nichel	30
7439-92-1	Piombo	30
	Organo metalli	µg/kg
	Tributilstagno	5
	Policiclici Aromatici	µg/kg
50-32-8	Benzo(a)pirene	30
205-99-2	Benzo(b)fluorantene	40
207-08-9	Benzo(k)fluorantene	20
191-24-2	Benzo(g,h,i) perilene	55
193-39-5	Indenopirene	70
120-12-7	Antracene	45
206-44-0	Fluorantene	110
91-20-3	Naftalene	35
	Pesticidi	
309-00-2	Aldrin	0,2
319-84-6	Alfa esaclorocicloesano	0,2
319-85-7	Beta esaclorocicloesano	0,2
58-89-9	Gamma esaclorocicloesano lindano	0,2
	DDT (3)	1
	DDD (3)	0,8
	DDE (3)	1,8
60-57-1	Dieldrin	0,2
118-74-1	Esaclorobenzene	0,4

Note alla Tabella 2/A

(1) Standard di qualità ambientale espresso come valore medio annuo (SQA-MA).

(2) In considerazione della complessità della matrice sedimento è ammesso, ai fini della classificazione del buono stato chimico uno scostamento pari al 20% del valore riportato in tabella

(3) DDE, DDD, DDT: lo standard è riferito alla somma degli isomeri 2,4 e 4,4 di ciascuna sostanza.

Tab. 3/A Standard di Qualità biota (Stato Chimico) (1) (2)

Sostanze	SQA-MA (3)
Mercurio e composti	20 µg/kg
Esaclorobenzene	10 µg/kg
Esaclorobutadiene	55 µg/kg

Note alla Tabella 3/A

(1) Gli Standard di qualità nel biota si applicano ai tessuti (peso umido).

(2) L'organismo bioaccumulatore di riferimento per le acque marino-costiere è il Mitile (*Mytilus galloprovincialis*, Lamark, 1819).

(3) La conformità viene valutata rispetto alla concentrazione rilevata in un unico campionamento. Se sono stati effettuati ulteriori campionamenti nel corso dell'anno la conformità viene valutata sulla media dei campionamenti effettuati.

A.2.7. Standard di qualità ambientale nella colonna d'acqua per alcune delle sostanze non appartenenti all'elenco di priorità

Nella Tabella 1/B sono definiti standard di qualità ambientale per alcune delle sostanze appartenenti alle famiglie di cui all'Allegato 8 del presente decreto legislativo. La selezione delle sostanze da monitorare è riportata ai punti A.3.2.5 e A.3.3.4 del presente Allegato.

Tab. 1/B

CAS	Sostanza	SQA-MA (1) (µg/l)	
		Acque superficiali interne (2)	Altre acque di superficie (3)
7440-38-2	Arsenico	10	5
2642-71-9	Azinfos etile	0,01	0,01
86-50-0	Azinfos metile	0,01	0,01
25057-89-0	Bentazone	0,5	0,2
95-51-2	2-Cloroanilina	1	0,3
108-42-9	3-Cloroanilina	2	0,6
106-47-8	4-Cloroanilina	1	0,3
108-90-7	Clorobenzene	3	0,3
95-57-8	2-Clorofenolo	4	1
108-43-0	3-Clorofenolo	2	0,5
106-48-9	4-Clorofenolo	2	0,5
89-21-4	1-Cloro-2-nitrobenzene	1	0,2
88-73-3	1-Cloro-3-nitrobenzene	1	0,2
121-73-3	1-Cloro-4-nitrobenzene	1	0,2
-	Cloronitrotolueni (4)	1	0,2
95-49-8	2-Clorotoluene	1	0,2
108-41-8	3-Clorotoluene	1	0,2
106-43-4	4-Clorotoluene	1	0,2
74440-47-3	Cromo totale	7	4
94-75-7	2,4 D	0,5	0,2
298-03-3	Demeton	0,1	0,1
95-76-1	3,4-Dicloroanilina	0,5	0,2
95-50-1	1,2 Diclorobenzene	2	0,5
541-73-1	1,3 Diclorobenzene	2	0,5
106-46-7	1,4 Diclorobenzene	2	0,5
120-83-2	2,4-Diclorofenolo	1	0,2
62-73-7	Diclorvos	0,01	0,01
60-51-5	Dimetoato	0,5	0,2
76-44-8	Eptaclor	0,005	0,005
122-14-5	Fenitrothion	0,01	0,01
55-38-9	Fention	0,01	0,01
330-55-2	Linuron	0,5	0,2
121-75-5	Malation	0,01	0,01
94-74-6	MCPA	0,5	0,2
93-65-2	Mecoprop	0,5	0,2
10265-92-6	Metamidofos	0,5	0,2
7786-34-7	Mevinfos	0,01	0,01
1113-02-6	Ometoato	0,5	0,2
301-12-2	Ossidemeton-metile	0,5	0,2
56-38-2	Paration etile	0,01	0,01
298-00-0	Paration metile	0,01	0,01
93-76-5	2,4,5 T	0,5	0,2
108-88-3	Toluene	5	1
71-55-6	1,1,1 Tricloroetano	10	2
95-95-4	2,4,5-Triclorofenolo	1	0,2
120-83-2	2,4,6-Triclorofenolo	1	0,2
5915-41-3	Terbutilazina (incluso metabolita)	0,5	0,2
-	Composti del Trifenilstagno	0,0002	0,0002
1330-20-7	Xileni (5)	5	1
	Pesticidi singoli (6)	0,1	0,1
	Pesticidi totali (7)	1	1

Note alla Tabella 1/B

- (1) Standard di qualità ambientale espresso come valore medio annuo (SQA-MA).
 (2) Per acque superficiali interne si intendono i fiumi, i laghi e i corpi idrici artificiali o fortemente modificati.
 (3) Per altre acque di superficie si intendono le acque marino-costiere e le acque transizione.
 (4) Cloronitrotolueni: lo standard è riferito al singolo isomero.
 (5) Xileni: lo standard di qualità si riferisce ad ogni singolo isomero (orto-, meta- e para-xilene).
 (6) Per tutti i singoli pesticidi (inclusi i metaboliti) non presenti in questa tabella si applica il valore cautelativo di 0,1 µg/l; tale valore, per le singole sostanze, potrà essere modificato sulla base di studi di letteratura scientifica nazionale e internazionale che ne giustifichino una variazione.
 (7) Per i Pesticidi totali (la somma di tutti i singoli pesticidi individuati e quantificati nella procedura di monitoraggio compresi i metaboliti ed i prodotti di degradazione) si applica il valore di 1 µg/l fatta eccezione per le risorse idriche destinate ad uso potabile per le quali si applica il valore di 0,5 µg/l.

Per le risorse idriche destinate ad uso potabile sono anche controllate le sostanze di seguito riportate con i relativi standard di qualità ambientale riportati in tab. 2/B. Per tali risorse idriche, inoltre, si applicano gli standard di qualità fissati dal decreto legislativo 2 febbraio 2008, 31 nei casi in cui essi risultino più restrittivi dei valori individuati nelle tabelle 1/A e 1/B.

Tab. 2/B

Sostanza	SQA-MA (µg/l)
Antimonio	5
Boro	1 (mg/l)
Cianuro	50
Fluoruri	1,5 (mg/l)
Nitrato (NO ₃) (1)	50 (mg/l)
Nitrito (NO ₂)	0,5 (mg/l)
Selenio	10
Cloruro di vinile	0,5
Vanadio	50

(1) E da soddisfare la condizione: $(\text{nitrato})/50 + (\text{nitrito})/0,5(0,1) \leq 1$ ove le parentesi esprimono la concentrazione in mg/l per il nitrato e il nitrito e il valore di 0,1 mg/L per i nitriti sia rispettato nelle acque provenienti da impianti di trattamento.

A.2.7.1 Standard di qualità ambientale per altre sostanze, non appartenenti all'elenco di priorità, nei sedimenti per i corpi idrici marino-costieri e di transizione

Nella Tabella 3/B sono riportati standard di qualità ambientale per la matrice sedimenti per alcune delle sostanze diverse da quelle dell'elenco di priorità, appartenenti alle famiglie di cui all'Allegato 8 del presente decreto legislativo. In quest'ultimo caso il monitoraggio è effettuato almeno 1 volta nell'arco di un anno. Se sono effettuati ulteriori campionamenti nel corso dell'anno la conformità viene valutata sulla media dei campionamenti effettuati.

Per le sostanze PCB, Diossine, Ipa Totali e cromo esavalente resta comunque l'obbligo del controllo nei sedimenti in considerazione del fatto che per dette sostanze non è stato individuato lo standard nella colonna d'acqua.

Tab. 3/B

NUMERO CAS	PARAMETRI	SQA-MA (1) (2)
	Metalli	mg kg ⁻¹ s.s
7440-38-2	Arsenico	12
7440-47-3	Cromo totale	50
	Cromo VI	2
	Politiclici Aromatici	µg/kg s.s.
	IPA totali (3)	800
	PCB e Diossine	
	Sommat. T.E. PCDD, PCDF (Diossine e Furani) e PCB diossina simili (4)	2 x 10 ⁻³
	PCB totali (5)	8

Note alla Tabella 3/B

(1) Standard di qualità ambientale espresso come valore medio annuo (SQA-MA).

(2) In considerazione della complessità della matrice sedimento è ammesso, ai fini della classificazione del buono stato ecologico uno scostamento pari al 20% del valore riportato in tabella.

(3) La somma è riferita ai seguenti IPA: (Naftalene, acenafte, Acenafilene, Fenantrene, Fluorantene, Benz(a) antracene, Crisene, Benz(b) fluorantene, Benzo(k) fluorantene, Benz(a)pirene, dibenzo(a,h)antracene, antracene, pirene, benzo(g,h,i) perilene, Indeno(1,2,3)c,d pirene, fluorene).

(4) PCB diossina simili: PCB 77, PCB 81, PCB 118, PCB 126, PCB 156, PCB 169, PCB 189, PCB 105, PCB 114, PCB 123, PCB 157, PCB 167.

(5) PCB totali, lo standard è riferito alla sommatoria dei seguenti congeneri: PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB 118, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 169, PCB 180.

Elenco congeneri e relativi Fattori di Tossicità Equivalenti (EPA, 1989) e elenco congeneri PCB Diossina simili (WHO, 2005).

Congeneri	I-TEF
Policlorodibenzodiossine	
2,3,7,8 T4CDD	1
1,2,3,7,8 P5CDD	0,5
1,2,3,4,7,8 H6CDD	0,1
1,2,3,6,7,8 H6CDD	0,1
1,2,3,7,8,9 H6CDD	0,1
1,2,3,4,6,7,8 H7CDD	0,01
OCDD	0,001
Policlorodibenzofurani	
2,3,7,8 T4CDF	0,1
1,2,3,7,8 P5CDF	0,05
2,3,4,7,8 P5CDF	0,5
1,2,3,4,7,8 H6CDF	0,1
1,2,3,6,7,8 H6CDF	0,1
1,2,3,7,8,9 H6CDF	0,1
2,3,4,6,7,8 H6CDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8 H7CDF	0,01
1,2,3,4,7,8,9 H7CDF	0,01
OCDF	0,001

Congeneri PCB Diossina simili	WHO TEF
PCB 77	0,0001
PCB 81	0,0003
PCB 126	0,1
PCB 169	0,03
PCB 105	0,00003
PCB 114	0,00003
PCB 118	0,00003
PCB 123	0,00003
PCB 156	0,00003
PCB 157	0,00003
PCB 167	0,00003
PCB 189	0,00003

Capitolo V: Biomassa microbica e attività enzimatica del suolo della Regione Lombardia

Nell'ambito del Progetto Soil sono stati determinate la quantità di biomassa microbica e nove attività enzimatiche di 156 campioni di suolo superficiale prelevati nella regione Lombardia provenienti da località non soggette a specifiche fonti di inquinamento. La quantità di microrganismi rilevata nel terreno è risultata molto ampia: 43 ± 42 (media \pm dev.St.) μg di dsDNA per grammo di terreno secco, con un valore massimo di ben $342\mu\text{g}$ di dsDNA. A maggiori contenuti di dsDNA hanno sempre corrisposto maggiori attività enzimatiche, sebbene in proporzione variabile, come del resto era atteso.

1. Introduzione

La biomassa microbica (intesa come quantità totale di microbi presente nel terreno) e l'attività enzimatica del suolo costituiscono biosensori ambientali capaci di rispondere velocemente alle sollecitazioni causate da fattori chimici, fisici e nutrizionali, inclusi gli effetti della gestione del terreno. Molto spesso indicano anche quanto velocemente questi effetti si manifesteranno [1]. Biomassa microbica e l'attività enzimatica sono indicatori molto sensibili, richiedono in genere tempi brevi o comunque abbastanza accettabili per la loro esecuzione utilizzando tecniche standard e sono abbastanza economici da poter essere utilizzati su scala ampia.

Ne consegue che si rivelano particolarmente utili nel monitoraggio del suolo per valutare gli effetti dei fattori soprammenzionati nei riguardi di variazioni di fertilità, di inquinamento, di fattori naturali incidenti sull'attività biologica, ecc.

Le diverse attività enzimatiche del suolo indicano la capacità di questo comparto ambientale nel degradare o trasformare determinati substrati [2], inclusi determinati componenti della sostanza organica del suolo. Nel presente caso di studio tali attività pertanto forniscono indicazioni sul "grado di funzionamento" del sistema suolo nei diversi cicli biogeochimici.

La quantità di biomassa microbica del terreno fornisce un'informazione meno dettagliata ma comunque globale circa le condizioni del comparto suolo che influenzano lo sviluppo della componente microbica del suolo. Una maggiore quantità di biomassa microbica, a parità di altri fattori quali tessitura, pH e contenuto di sostanza organica, indica che nel terreno vi è maggiore disponibilità di sostanza organica utilizzabile dai microrganismi per la loro crescita e metabolismo. Per

contro, la presenza di fattori avversi ai microrganismi, quali ad esempio condizioni estreme di pH o presenza di inquinanti di varia natura, inibisce i microrganismi, causandone un decremento.

Per la determinazione delle attività enzimatiche e della quantità di microrganismi nei terreni oggetto della presente indagine si sono utilizzate metodologie originali che consentono di quantificare i parametri di interesse con grande capacità di lavoro.

La biomassa microbica è stata quantificata mediante la misura del contenuto di DNA nel suolo [3] mentre le 10 attività enzimatiche sono state determinate su micropiastra negli estratti ottenuti dal terreno mediante scambio eteromolecolare con proteina [4]. Entrambe queste tecniche permettono una capacità di lavoro circa 30 volte maggiore rispetto alle tecniche tradizionali e con sensibilità superiore grazie all'utilizzo di tecniche fluorometriche.

2. Materiali e metodi

2.1 Campioni analizzati

Sono stati presi in considerazione sia i campioni della prima fase (156 campioni) del Progetto Soil della Regione Lombardia che quelli della seconda fase.

La porzione di terreno destinata alle analisi è stata seccata all'aria, setacciata a 2 mm e conservata sino all'analisi in provette di plastica. Questa procedura permette di stabilizzare i campioni di suoli, permettendo di effettuare eventuali successive analisi che siano tra loro sempre confrontabili.

2.2 Determinazione della biomassa microbica del terreno

Tra le varie metodologie disponibili è stata scelta quella basata sulla quantificazione del contenuto di DNA a doppia elica (dsDNA) del terreno con metodologia semplificata senza uso di costosi kit di estrazione [3]. Tra le varie forme di DNA presente nel suolo (singola e doppia elica), dsDNA è quella che da varie ricerche è risultata essere la più correlata con la quantità di microrganismi [3]. Vantaggio determinate di questa tecnica è che essa è applicabile anche a terreno secco, evitando quindi di dover operare su terreno fresco o comunque conservato umido a bassa temperatura o, ancora, di dover riумettere il terreno essiccato prima dell'analisi.

Per l'estrazione del dsDNA si sono pesati in una provetta Eppendorf da 2 mL, 0,5 g di suolo e si sono aggiunti 0,4 mL di microbiglie di vetro di diametro medio pari a 80 μm e 0,4 mL di microbiglie di ceramica di diametro 800 μm . Ad ogni provetta si sono aggiunti 1,2 mL di fosfato sodico 0,12 M pH 7,8 e si è proceduto al bead-beating per la durata di 2 minuti, alla frequenza di 30 colpi al minuto con un mulino Retsch MM400. Le provette sono quindi state centrifugate a 13.000 g per 5 minuti. Il surnatante è stato diluito opportunamente a seconda delle caratteristiche del campione e il dsDNA è stato quantificato fluorometricamente utilizzando il reagente Pico-Green (Life Technologies) su micropiastre nera da 384 pozzetti utilizzando un lettore di micropiastre Synergy HT (Bio-Tek). I dati sono stati espressi in microgrammi di dsDNA per grammo di suolo secco.

2.3 Determinazione delle attività enzimatiche del terreno

Gli enzimi sono stati estratti dal suolo applicando una procedura di bead-beating simile a quella descritta al punto 2.2 per il dsDNA, con l'unica eccezione che il bead-beating aveva una durata di tre minuti invece che due. Come estraente è stata usata una soluzione al 3% di lisozima [4]. Sono state determinate le seguenti attività: arilsulfatasi (aryS), beta-glucosidasi (β -gluc), chitinasi (chit), fosfomonoesterasi acida (acP), fosfomonoesterasi alcalina (alkP), fosfodiesterasi (bisP), pirofosfato-fosfodiesterasi (piroP), leucina-aminopeptidasi (leu), acetato-esterasi (ester). Solo sui terreni della seconda fase del progetto si è determinata anche l'attività alfa-glucosidasi (α -gluc). Come substrati sono stati utilizzati i derivati fluorogenici del 4-metilumbelliferone, eccetto che per la leucina-aminopeptidasi, per la quale il fluoroforo era costituito dalla 7-amino-4-metilcumarina. La misura delle attività enzimatiche è stata effettuata su micropiastre bianche da fluorimetria da 384 pozzetti, dosando 40 μL di tampone, 20 μL di estratto e 15 μL di substrato enzimatico. Su ogni piastra è stata approntata una curva di calibrazione e ogni estratto è stato piastrato in doppio. Sono state effettuate quattro letture di ogni piastra e l'attività enzimatica è stata ricavata dalla pendenza della curva di regressione tempo vs fluorescenza.

2.4 Elaborazioni statistiche

Per le analisi di correlazione si è utilizzato il programma SPSS 9.

3. Risultati e discussione

I dati delle misure effettuate sui campioni della prima fase del progetto sono riportati in Tabella 1 in Appendice.

Si può notare che i diversi parametri variano entro limiti molto ampi.

Ad esempio la biomassa microbica risulta essere in media 43 μg di dsDNA per g di terreno secco con una deviazione standard pari a 41. Il valore massimo è pari a ben 342 μg dsDNA.

Come si rileva in generale tutti i suoli, la biomassa microbica cresce al crescere del contenuto di sostanza organica. Tuttavia la relazione non è strettamente lineare, come si può vedere in Figura 1. Vi sono terreni che hanno relativamente poca sostanza organica ma alto contenuto di biomassa microbica e viceversa terreni ricchi di C organico che hanno un contenuto di biomassa microbica relativamente modesto.

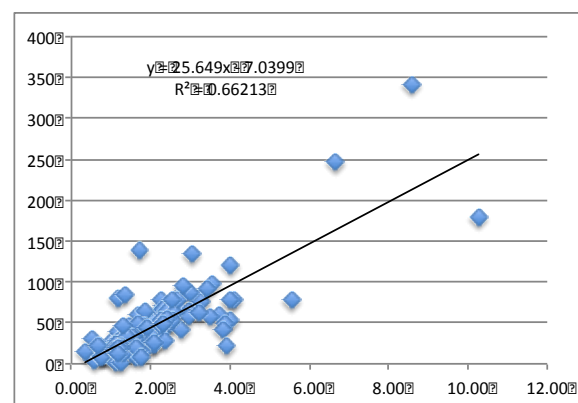


Figura 1. Contenuto di dsDNA (asse y) in funzione del contenuto di C organico del suolo (asse x).

C organico espresso in g C 100 g⁻¹ suolo secco;
dsDNA espresso in μg dsDNA g⁻¹ di suolo secco.

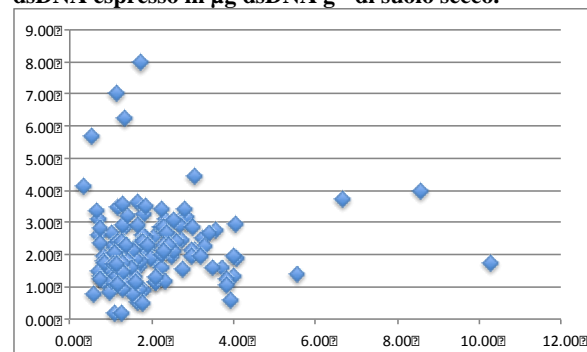


Figura 2. Contenuto di dsDNA espresso in μg di dsDNA per g di C organico (asse y) in funzione del contenuto di C organico del suolo (asse X).

Queste differenze vengono ancora più evidenziate dalla

Figura 2, dove il contenuto di dsDNA riferito all'unità di C organico messo in diagramma contro il contenuto di C del suolo mostra una variabilità molto ampia.

Chiaramente anche altri fattori, come noto, determinano il contenuto di biomassa microbica: pH, tessitura del suolo, regime climatico, lavorazioni del suolo.

Per quanto riguarda le diverse attività enzimatiche misurate, è possibile fare due osservazioni. La prima è che a valori maggiori di biomassa microbica corrispondono valori più elevati di enzimi. La seconda è che il rapporto tra le attività enzimatiche varia in modo notevole da un campione all'altro. Questo significa che nei diversi suoli vi è una differenza nell'intensità dei processi biogeochimici a carico dei diversi elementi nutritivi e molto probabilmente ciò corrisponde anche ad una diversa composizione del pool microbico.

4. Conclusioni

La presente indagine ha fornito dati riguardo ai valori medi e la variabilità del contenuto di dsDNA e attività nei suoli della regione Lombardia. Questi dati, una volta relazionati con gli altri parametri del suolo, potranno costituire valori di riferimento per valutare lo status del terreno nei diversi ambienti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dick R.P., Burns R.G.. A brief history of soil enzymology research. In: Dick R. *Methods of soil enzymology*. Soil Science Society of America, Madison, USA. 2011.
- [2] Dick, R.P. Breakwell, D.P., Turco R. F. (1996). Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: *Methods for assessing Soil Quality*. SSSA Special publication 49. Madison, USA.. 1996.
- [3] Fornasier F., Ascher J., Ceccherini,M.T., Tomat E., Pietramellara G. (2014). A simplified rapid, low-cost and versatile DNA-based assessment of soil microbial biomass. *Ecological Indicators*, 2014, n.45 pp 75-82. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.03.028.
- [4] Cowie A., Lonergan V.E., Rabbi F.S.M., Fornasier F., Macdonald C., Harden S, Akitomo Kawasaki A., Brajesh K Singh B.K. (2013). The impact of carbon farming practices on soil carbon in northern New South Wales. *Soil Research* 2013, n.51(8) pp 707-718. <http://dx.doi.org/10.1071/SR13043>.

APPENDICE

Tabella 1. dsDNA e attività enzimatica nei terreni della Lombardia.

- dsDNA: DNA a doppia elica. Espresso in microgrammi di DNA a doppia elica per g di suolo secco.
- aryS: arylsulfatasi; chit: chitinasi; β -gluc: beta-glucosidasi; acP: fosfomonoesterasi acida; bisP: fosfodiesterasi; piroP: pirofosfato-fosfodiesterasi; alkP: fosfomonoesterasi alcalina; leu: leucina-aminopeptidasi; ester: acetato-esterasi.
- Attività enzimatiche: espresse in nanomoli di 4-metilumbelliferone (leu: 7-amino-4metil cumarina) per g di suolo secco e per ora.

camp	dsDNA	aryS	chit	β -gluc	acP	bisP	piroP	alkP	leu	ester
1	66,3	5	6	6	87	37	12	216	38	2537
2	28,2	6	4	5	71	10	3	65	24	2226
3	63,6	8	4	5	115	50	16	236	38	2349
4	81,1	26	5	8	184	35	11	138	37	6594
5	43,4	3	5	3	44	21	7	135	19	1080
6	137,7	14	10	8	224	108	45	432	56	3192
7	72,3	17	3	7	148	26	8	102	30	5302
8	41,7	1	5	2	41	16	5	157	17	730
9	97,8	26	7	8	151	56	16	219	57	5776
10	64,4	18	5	7	125	27	6	107	34	5126
11	247,4	16	12	13	258	163	76	590	97	5333
12	52,1	3	7	3	60	39	15	235	27	1149
13	65,0	6	7	4	90	39	16	237	28	1722
14	66,2	4	7	4	81	43	16	240	27	1537
15	38,2	2	10	5	75	16	9	182	33	1014
18	54,2	3	5	2	71	45	14	242	21	1122
19	119,7	8	5	5	142	91	35	369	35	3045
20	178,7	8	8	9	130	68	42	264	34	3330
21	59,9	7	3	4	66	24	7	63	12	2922
23	24,0	2	3	5	37	2	0	14	5	1945
24	37,6	6	2	4	98	40	11	147	15	2741
25	8,2	0	0	0	13	10	3	47	4	284
26	74,8	4	10	6	83	51	24	286	32	1272
27	19,1	2	7	4	50	6	2	60	19	1076
28	64,3	21	9	11	144	20	6	118	44	6222
29	23,7	2	2	0	43	19	3	71	5	2668
30	15,8	2	3	4	32	4	2	30	14	730
32	36,5	6	4	7	75	5	0	39	19	4133
33	78,0	19	6	8	182	19	8	114	38	5140
34	59,6	10	4	9	92	8	2	52	26	5079
35	77,8	5	4	7	108	60	20	268	26	2683
37	82,8	11	6	8	135	81	27	311	43	3152
38	77,2	2	4	7	40	4	0	30	12	772
39	59,7	0	4	3	49	24	5	84	9	1034
40	81,1	2	3	5	33	6	0	32	10	849
41	86,7	5	6	9	73	10	4	83	33	2369
42	27,8	0	2	2	25	22	4	127	10	564
43	15,9	2	4	6	44	3	0	19	11	1330
44	17,3	2	3	4	48	6	2	30	11	1368
45	27,5	3	6	6	68	30	8	119	25	1714
46	134,8	9	6	6	154	77	27	385	40	2741
47	90,7	2	6	5	63	46	14	232	25	1633
48	16,4	0	3	4	40	3	0	25	11	841
49	18,7	0	3	5	42	3	0	21	9	1038
50	48,9	3	16	10	99	7	2	72	34	1661

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

51	31,0	4	4	5	77	28	6	98	19	1310
52	25,6	2	6	3	29	19	4	110	21	764
53	38,8	2	3	2	48	37	13	189	12	942
54	22,6	2	5	6	51	11	2	49	11	2034
55	31,6	2	6	4	62	48	12	178	19	1157
56	65,2	9	6	4	109	56	20	167	22	3383
57	24,1	3	3	4	58	13	5	87	21	1153
58	47,5	5	9	5	92	70	22	296	30	1799
59	37,7	0	3	2	41	32	9	174	12	849
60	17,7	0	5	4	52	11	3	81	18	738
61	66,2	11	11	9	160	43	17	196	42	4672
62	19,2	2	4	5	53	4	0	34	16	911
63	10,0	0	3	4	36	10	2	48	12	999
64	78,4	4	6	5	102	81	30	412	33	2072
65	57,2	0	5	4	55	46	10	288	21	1014
66	14,0	0	4	4	37	12	4	90	16	602
67	31,4	2	5	4	54	33	9	183	17	1068
68	29,3	0	3	2	44	27	8	155	12	788
69	63,6	12	9	7	172	90	46	371	35	3014
70	55,9	2	4	4	61	38	10	236	16	1026
71	91,2	13	10	8	158	78	40	353	55	3165
72	56,7	2	5	4	66	59	15	339	23	988
73	48,3	2	10	6	70	52	19	299	37	1522
74	63,3	2	4	4	56	38	11	224	19	980
75	52,9	0	5	4	60	61	13	327	19	1153
76	62,2	6	10	5	103	52	24	301	40	1234
77	77,8	12	8	6	194	35	12	172	39	3102
78	23,2	0	4	3	57	48	13	148	13	876
79	42,6	0	5	4	65	54	16	313	18	938
80	46,7	2	5	5	57	38	14	232	27	1061
81	16,1	2	3	4	34	13	3	66	14	565
82	38,1	2	6	4	72	53	19	259	22	1379
83	86,1	0	5	4	50	56	17	256	21	1576
84	4,5	0	0	2	12	2	0	19	8	438
85	17,3	2	5	3	22	6	0	37	12	426
86	27,5	2	5	4	59	42	11	197	28	1050
87	10,4	0	5	4	48	8	3	70	16	549
88	29,8	0	0	2	23	25	5	105	9	453
89	41,9	0	3	2	60	52	14	206	14	806
90	95,4	0	5	5	55	56	16	229	27	1657
91	14,7	0	4	3	37	11	3	69	17	810
92	17,3	2	4	3	45	8	2	59	14	637
93	10,1	2	3	3	31	3	0	24	10	1261
94	52,7	0	21	5	19	9	7	298	33	318
95	78,2	20	12	11	162	29	12	167	55	3822
96	18,4	0	2	2	30	22	7	125	16	607
97	27,1	0	4	2	35	38	11	225	19	826
98	24,9	0	0	2	21	24	5	123	15	376
99	12,1	0	4	4	42	16	4	66	15	634
100	41,2	0	3	3	41	49	13	223	17	850
101	341,8	24	8	18	0	217	124	1097	169	7630
102	30,7	0	2	2	29	33	7	156	10	469
103	8,5	0	2	3	26	3	0	24	10	549
104	29,7	3	7	4	76	48	13	220	27	1053
105	40,9	0	4	2	38	44	14	273	18	957
106	10,8	0	2	3	26	0	0	7	5	896

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

107	42,3	0	2	3	56	63	16	276	14	611
108	22,6	2	4	4	48	23	4	105	21	926
109	25,1	0	2	2	29	32	8	142	12	387
110	46,5	0	2	2	26	32	6	138	12	580
111	22,4	0	0	2	20	20	4	110	9	292
112	12,6	2	4	4	24	3	0	27	15	714
113	15,3	2	3	3	63	14	3	52	15	1106
114	48,9	2	9	4	74	76	25	361	28	1506
115	26,7	0	2	2	20	23	8	137	9	588
116	17,0	0	3	3	43	26	9	126	16	911
117	40,4	1	4	3	45	51	15	241	19	1222
118	28,5	0	2	2	34	41	10	203	14	626
119	21,4	0	0	2	23	22	5	127	7	365
120	17,4	0	2	0	21	14	4	88	10	461
121	30,3	0	0	2	14	15	3	75	7	310
122	20,3	0	2	2	22	20	6	130	15	502
123	22,8	0	2	2	25	29	7	159	10	468
124	14,2	0	0	2	9	13	3	61	7	222
125	22,3	0	2	4	26	4	0	20	4	402
126	15,0	0	3	4	44	15	3	53	12	472
127	17,4	0	2	3	20	23	5	118	16	326
128	19,1	0	2	2	19	17	6	102	7	330
129	33,3	0	2	2	28	40	10	186	9	441
130	23,8	0	2	2	24	26	6	136	8	361
131	16,0	0	0	2	6	6	0	32	4	118
132	15,4	0	2	2	21	18	5	98	8	360
133	20,9	0	0	0	10	4	0	22	0	80
134	15,3	0	2	2	17	14	4	84	10	295
135	14,3	0	0	0	8	8	2	44	4	114
136	25,3	0	2	3	30	22	7	136	14	454
137	22,9	0	2	3	28	28	6	121	11	538
138	1,8	0	0	0	2	0	0	6	0	0
139	23,9	0	0	2	30	32	7	142	9	587
140	32,6	0	4	3	29	28	7	169	12	538
141	9,2	0	2	0	12	11	3	66	7	230
142	20,5	0	0	0	20	21	5	125	9	373
143	83,8	0	4	2	35	29	9	188	20	661
144	20,3	0	0	0	25	25	6	153	10	395
145	2,3	0	0	0	0	0	0	4	0	0
146	47,0	0	4	2	36	30	9	200	18	910
147	19,4	0	0	0	5	7	0	22	3	22
148	11,8	0	0	0	0	2	0	11	2	0
149	12,0	0	0	0	4	4	0	30	3	49
150	22,8	0	2	2	17	14	3	92	8	341
151	18,6	0	0	2	24	17	7	78	8	414
152	44,2	0	3	3	55	43	16	195	15	1091
153	18,5	0	0	0	10	8	3	32	3	191
154	8,9	0	0	0	11	14	3	45	5	199
155	45,9	2	3	3	57	45	13	167	12	887
157	55,8	3	4	4	59	46	16	222	17	1087
158	48,1	5	12	10	107	38	14	165	32	1683
159	18,0	2	5	4	47	31	6	132	19	887
160	19,4	0	6	3	58	19	4	85	19	960
161	13,0	0	5	4	41	3	0	28	14	430
162	22,4	0	0	0	13	11	3	61	5	191

***Fase II - Monitoraggio su aree a maggior
interesse ambientale della Regione
Lombardia***

Capitolo VI: Caratterizzazione chimico-fisica dei campioni di suolo

Dopo aver effettuato un monitoraggio esteso a tutta la Regione Lombardia, il Soil Mapping Project si è dedicato ad alcune aree a maggior interesse ambientale perché sede di attività ad elevato potenziale di impatto, o perché interessate in passato da comprovati fenomeni di contaminazione. Per queste aree è stato previsto un nuovo campionamento appositamente studiato, e sono state ripetute le analisi già viste in fase generale. I risultati ottenuti da questa nuova caratterizzazione potranno essere confrontati con quelli derivanti dall'applicazione di indicatori biologici di vario tipo, alla luce di un'innovativa chiave di lettura olistica.

1. Le aree sottoposte ad indagine

1.1 Area agricola nelle immediate adiacenze dell'impianto di incenerimento rifiuti in località Parona (PV)

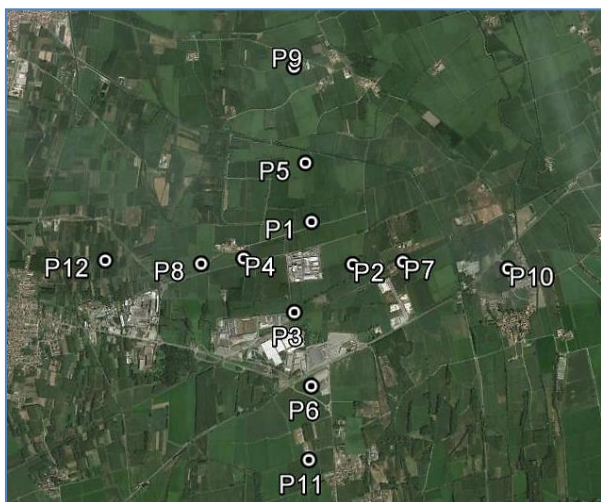
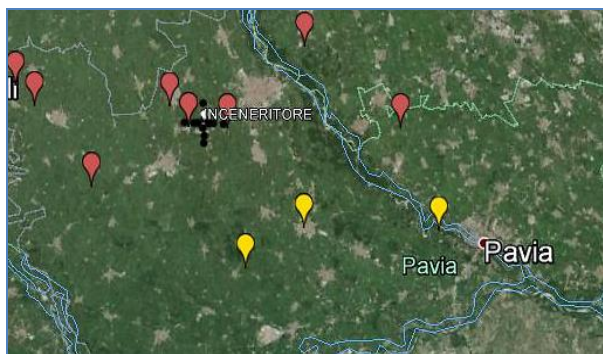


Figura 1. Posizione geografica e disposizione dei punti campionati

L'impianto di trattamento e termovalorizzazione rifiuti di Parona (PV) costituisce il principale polo di smaltimento del "bacino B" della provincia di Pavia. La capacità complessiva autorizzata dell'impianto è pari a 200.000 t/anno di rifiuti solidi urbani e rifiuti speciali non pericolosi e 180.000 t/anno di rifiuti speciali non pericolosi. Lo stabilimento occupa un'area di circa 110.000 m² posta a EST dell'abitato di Parona, provvede al trattamento, al recupero e alla valorizzazione energetica dei rifiuti.

Le ceneri pesanti, costituite da materiale incombusto e da sabbia esausta, sono scaricate, raffreddate, vagliate e avviate a recupero, principalmente in cementifici. A valle delle due linee di combustione si trovano i sistemi di depurazione dei fumi, che vengono immessi in un reattore dove vengono dosati calce o bicarbonato di sodio per abbattere le componenti acide (acido cloridrico, acido fluoridrico e biossido di zolfo) e carbone attivo per l'adsorbimento dei microinquinanti organici (diossine e furani) e inorganici (metalli pesanti, in particolare mercurio). Gli ossidi di azoto, comunque contenuti grazie alla tecnologia di combustione adottata, vengono invece abbattuti con un sistema che opera nella parte ad alta temperatura dei forni mediante iniezione di urea nel flusso dei fumi. I fumi depurati prendono poi la direzione dei camini di altezza pari a 100 m.

Oltre alle analisi condotte sui fumi emessi dai camini, è opportuno verificare la presenza di sostanze inquinanti che potrebbero derivare dall'impianto, nei terreni circostanti. Si tratta infatti di zone dedicate alla produzione agricola. Lo scopo è quindi quello di

individuare e quantificare metalli pesanti, diossine e furani, facendo poi un confronto con i limiti di legge e con i risultati ottenuti dalle precedenti analisi, condotte in occasione della costruzione dell'impianto di termovalorizzatore.

In questa area sono stati raccolti dodici campioni, prelevati su linee poste nelle quattro direzioni cardinali, rispettivamente a 500 m, 1000 m e 2000 m dall'impianto.

I terreni campionati rientrano nella categoria dei Luvisol, e si trovano nella parte nord-occidentale della provincia di Pavia, ad un'altezza di 110 mslm.

Il suolo è prevalentemente destinato alla coltivazione del riso (P8, P4, P9, P5, P1, P2, P6, P11), ma anche a quella della soia (P3 e P7). P12 rappresenta un ex pioppeto ora incolto, e p10 si presentava come terreno non lavorato al momento del prelievo.

Per quanto riguarda le caratteristiche tessiturali tali terreni presentano un'ampia percentuale di sabbia, con un picco del 91,5% (p7, tessitura sabbiosa), e generalmente ricadono nella classe "franco-sabbiosa". Ovviamente tale tipo di tessitura ha ripercussioni sulla struttura del suolo, in merito a porosità e drenaggio dell'acqua.

Il pH è molto acido (<5.5) nei punti P12, P11, P6 e P1; subacido nei punti P5 e P10, neutro in P3 ed acido nei restanti siti.

La *Tabella 1* riporta i giudizi riguardanti alcuni altri parametri indagati.

Tabella 1: Parametri agronomici e giudizi[1]

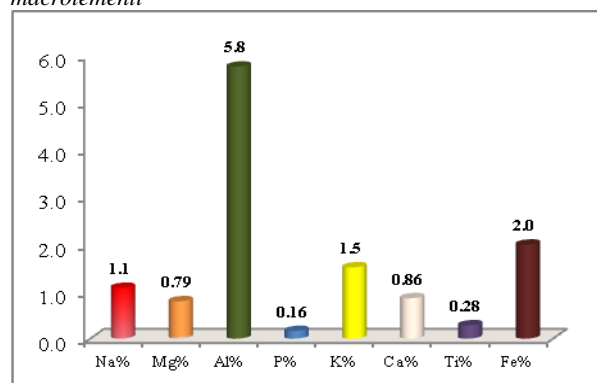
	MEDIA		MIN	MAX
N %	0,1		0,07	0,17
CO %	1,0		0,63	1,79
C/N	9,8		9,1	11,8
SO %	1,72	Decisamente scarsa	1,08	3,09
CSC (meq/100g)	7,8	Bassa	6,6	10,2
Calcare tot %	<0,20	Non calcareo	<0,20	<0,20

La capacità di scambio cationico è bassa, elemento che, assieme alla grande presenza di sabbia e al pH generalmente acido, potrebbe comportare la lisciviazione e la maggior disponibilità degli elementi potenzialmente tossici, quali i metalli pesanti.

La sostanza organica è decisamente scarsa ma ben umificata e quindi nella condizione migliore dal punto di vista della fertilità, come confermato dal rapporto C/N che rientra nella fascia ottimale. Questo potrebbe essere dovuto alla presenza di coltivazioni di soia che, in quanto legume, produce residui organici ricchi in azoto, che ne favoriscono la buona umificazione.

Per quanto riguarda i macroelementi, il più rappresentato in questa area è il silicio, la cui percentuale media è pari al 26%, come già intuibile dalla tessitura. Il grafico 1 mostra la distribuzione delle medie dei restanti elementi.

Grafico 1.: Percentuali relative al contenuto in macroelementi



Tutti i valori riscontrati sono paragonabili a quelli ottenuti nella fase generale ed individuati come fondo naturale, per il quale nessun elemento rivela superamenti. Tutti i valori sono anzi situati al di sotto di tali percentuali.

Dal punto di vista degli elementi potenzialmente tossici e dei limiti di legge previsti dal D.Lgs 152/2006, non si riscontra nessun superamento, fatta eccezione per lo stagno (4).

La *Tabella 2* mostra i risultati ottenuti per tutti gli elementi indagati.

Tabella 2: Valori relativi agli EPT indagati

	MAX mg kg ⁻¹	MIN mg kg ⁻¹	MEDIA mg kg ⁻¹
Be	0,53	0,31	0,43
V	23	14	19
Co	7	3,4	4,8
As	9	3,8	6,5
Se	1	0,19	0,34
Mo	0,66	0,29	0,43
Cd	0,5	0,12	0,22
Sb	0,4	0,13	0,26
Tl	0,3	0,1	0,16
Pb	31	9,1	17
Cr	83	18	42
Cu	39	8	18
Mn	228	89	138
Ni	38	12	21
Zn	110	32	58
Hg	0,67	0,02	0,14
Sn	2,8	0,37	1,19

Oltre a rispettare i limiti di legge imposti [2], i valori medi ottenuti sono al di sotto dei valori di fondo individuati per la stessa tipologia di suolo a livello regionale. Occorre segnalare unicamente il mercurio, che pur mantenendosi al di sotto del limite A più restrittivo di 1 mg kg⁻¹, si rivela maggiore al valore di fondo relativo ai Luvisol (0.14 mg kg⁻¹) nel suo punto a maggior concentrazione p11 (0.67 mg kg⁻¹).

1.2 Area agricola adiacente all'impianto di rigenerazione oli esausti Viscolube (LO)

La Viscolube è un'azienda nata nel 1963 a Pieve Fissiraga (LO), specializzata nella rigenerazione (nuova raffinazione) degli oli usati, da cui ricava olio base lubrificante con caratteristiche uguali o superiori a quelli di prima raffinazione.

Oltre alle basi lubrificanti, Viscolube produce anche gasolio e una miscela per applicazioni nel settore dei bitumi (asfalto flussato). L'attività dell'azienda è svolta 365 giorni l'anno, 24 ore su 24.

Nel 2010 Viscolube ha lavorato circa 130.000 tonnellate di olio usato, da cui sono state prodotte più di 80.000 tonnellate di basi lubrificanti di elevato livello qualitativo, con un indice di viscosità più alto e di colore più chiaro, rispetto alle basi di prima raffinazione, riducendo contemporaneamente in modo drastico il contenuto di zolfo.

Anche in questo caso lo scopo è di indagare a fondo lo stato di salute dei suoli nelle immediate vicinanze dell'impianto. La specifica attività svolta potrebbe pregiudicare la qualità dei terreni circostanti.

Le analisi riguarderanno come sempre la quantificazione di inquinanti organici e metalli pesanti, nell'ottemperanza delle relative norme vigenti. Gli otto campioni sono stati recuperati nelle quattro direzioni cardinali, ad una distanza di 500m e 1000m dall'impianto (Figura 2).

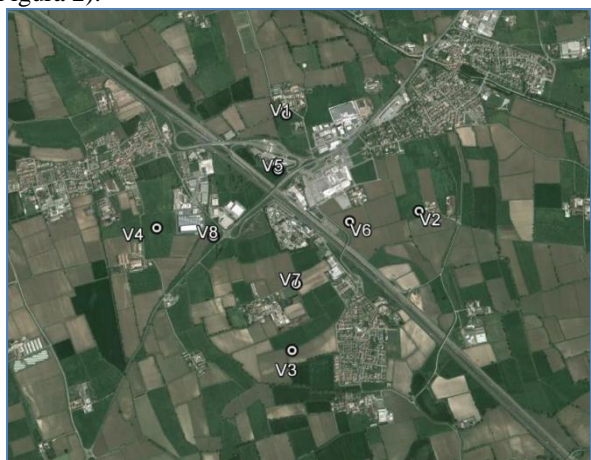


Figura 2. Posizione geografica e disposizione dei punti campionati

Dalla prima immagine è possibile notare che i punti di questa area possono essere ricondotti a suoli di tipo Luvisol, anche se circa 8 km più a sud si incontrano suoli facenti invece parte della categoria Cambisols.

Ad eccezione di 3 punti dedicati a prato e prato stabile (V8, V1 e V2), gli altri terreni sono tutti destinati a colture cerealicole.

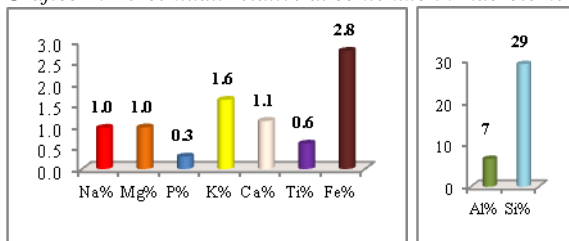
Dal punto di vista tessiturale, questi suoli hanno mediamente un 49% di sabbia, 42% di limo e circa un 7% di argilla. Sono quindi franco-sabbiosi.

Il pH oscilla tra acido e subacido, con valori pari a 5.9 in V1 e 6.0 in V3 e V6. Gli altri punti sono comunque inferiori 6.5. Tali valori di pH, considerati anche i valori di CSC attorno al 16 meq/100 g, stabiliscono le basi per una ottima fertilità potenziale. La sostanza organica però si è rivelata essere molto modesta (2,6%), anche alla luce della percentuale di argilla presente, ed il valore del C/N pari a 8 ne suggeriscono un elevato tasso di mineralizzazione (Tabella 3).

Tabella 3: Parametri agronomici e giudizi[1]

	MEDIA		MIN	MAX
N %	0,2		0,1	0,2
CO %	1,5		1,1	2
C/N	8,2		7,9	8,5
SO %	2,6	Molto modesta	2,0	3,4
CSC (meq/100g)	16,3	media	14,8	18

Grafico 2: Percentuali relative al contenuto in macroelementi



Per quanto riguarda i macroelementi (Grafico 2) il silicio è sempre il più abbondante, seguito dall'alluminio, in linea con i valori di fondo regionali.

Il titanio presenta una media leggermente più elevata: 0,6%, rispetto allo 0,5% dei luvisol; questo è dovuto alla presenza di un solo punto più elevato: il V3 (1,5%). I restanti punti oscillano omogeneamente intorno allo 0,5%. Anche il fosforo presenta una situazione analoga. La sua media costituita dallo 0,3% è in realtà dovuta al fatto che in un singolo punto il valore trovato è pari a 1,14% (V5); il V7 ha invece una percentuale pari allo 0,3% (ricco in fosforo), mentre il resto dei punti è compreso tra 0,10 e 0,20% (sufficientemente dotato in fosforo). Tale distribuzione è dovuta presumibilmente alla posizione in cui si trovano i suoli, compresa tra Cambisols (P=0,14%) e Luvisols (P=0,22%).

Il potassio invece è mediamente più basso rispetto ai valori di fondo, rimanendo comunque sufficientemente dotato.

Il resto degli elementi è in linea con i valori di fondo trovati nella fase generale.

Per quanto riguarda gli EPT, la *Tabella 4* riporta i risultati ottenuti.

Tabella 4: Valori relativi agli EPT indagati

	MAX mg kg ⁻¹	MIN mg kg ⁻¹	MEDIA mg kg ⁻¹
Be	0,74	0,57	1
V	34	13	29
Co	10	7,2	8
As	13	8,1	11
Se	1	0,5	0,59
Mo	1,7	0,29	0,61
Cd	0,3	0,16	0,24
Sb	0,5	0,32	0,43
Tl	0,2	0,2	0,2
Pb	136	44	65
Cr	50	33	42
Cu	51	20	29
Mn	631	369	488
Ni	33	24	29
Zn	161	65	88
Hg	0,12	0,06	0,07
Sn	3,8	0,95	1,37

In questo caso è stato evidenziato un superamento dei limiti di legge [2]. Lo zinco ha superato il limite A di 150 mg kg⁻¹, riportando la concentrazione di 161 mg kg⁻¹. Ancora una volta lo stagno si attesta mediamente superiore al limite A di 1 mg kg⁻¹. I valori medi di tutti gli EPT si trovano al di sotto dei valori di fondo trovati in regione per la stessa categoria di terreno.

1.3 Area agricola ospitante il tratto autostradale nei pressi di Origgio (Milano-Varese)

Il sito preso in considerazione corrisponde ad un tratto dell'autostrada Milano-Varese, all'altezza del paese di Origgio. I terreni circostanti tale via erano già stati oggetto di analisi in passato, trattandosi di una strada interessata da elevato carico veicolare. Nel lavoro precedente erano stati indagati mercurio, palladio, platino e piombo derivanti dall'uso delle marmitte catalitiche quali elementi in traccia, e gli IPA. I punti erano stati presi perpendicolarmente alla strada fino ad una distanza di 500 m, partendo dal ciglio e raccogliendo 14 campioni (7 suolo, 7 muschio).

Nell'attuale lavoro vengono considerati 8 punti (Figura 3), dei quali l'uscita autostradale sarà l'origine, in considerazione del fatto che in punti come questo l'emissione di inquinanti può aumentare. I punti di campionamento sono stati disposti perpendicolarmente a 50 m e 150 m da esso. A titolo di confronto poi, è stata fissata una nuova origine 500 m più a nord, con 2 punti a 50 m ed altri 2 a 150 m da essa.

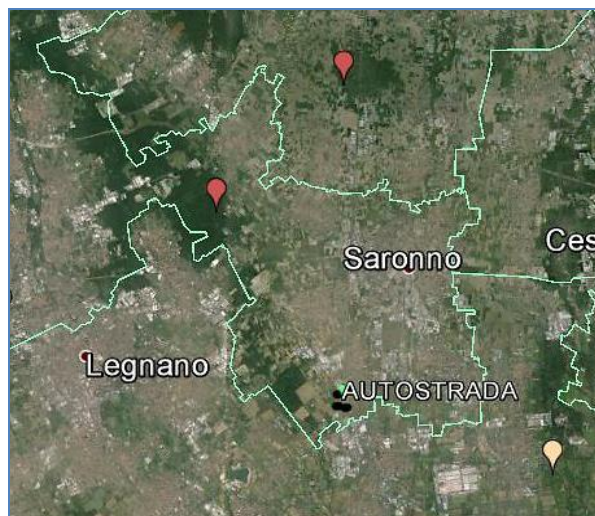


Figura 3. Posizione geografica e disposizione dei punti campionati

La maggior parte di questi punti erano adibiti a pascolo o risultavano incolti al momento del prelievo. Solo O5 ed O1 sono destinati alla coltura del frumento. L'altezza media di questa area si avvicina ai 200 mslm.

Consultando il Soil Atlas of Europe si evince che tale area ricade nella categoria dei Luvisols.

L'analisi tessiturale evidenzia un contenuto medio di sabbia pari a circa il 45%, limo 42% ed argilla attorno al 13%. Complessivamente la tessitura di questi terreni si rivela a carattere franco.

Il pH di tutti i siti campionati è molto acido, con valori che vanno dal 4,5 al 5,5.

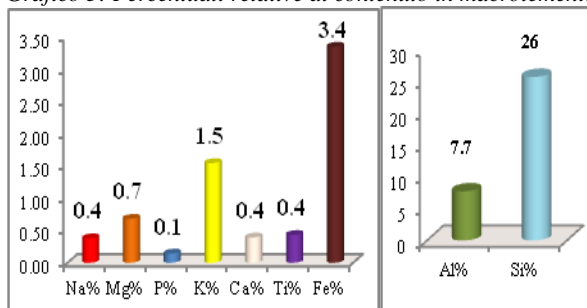
La capacità di scambio è medio bassa mentre la sostanza organica, valutata considerando il tenore in argilla e quello in carbonio organico, è soddisfacente, pur avendo un valore medio del 2,48%. Inoltre essa sembra avere un buon grado di umificazione, secondo con rapporto C/N vicino a 10 (*Tabella 5*).

I macroelementi (Grafico 3) hanno percentuali paragonabili ai valori medi ed alle mediane ottenuti in generale per i terreni appartenenti alla categoria dei Luvisols.

Tabella 5: Parametri agronomici e giudizi[1]

	media		min	max
N %	0,15		0,12	0,16
CO %	1,44		1,14	1,65
C/N	9,85		9,09	10,62
SO %	2,48	Soddisfacente	1,96	2,85
CSC (meq/100g)	11,6	Medio - bassa	8,8	13,3
Calcare tot %	<0,20	Non calcareo	<0,20	<0,20

Grafico 3: Percentuali relative al contenuto in macroelementi



Come si evince dal grafico, la percentuale di fosforo è mediamente pari a 0,1%, e questo fa sì che tale area ne sia sufficientemente dotata, così come per il potassio. Per quanto riguarda tutti gli altri elementi indagati (Tabella 6), dal punto di vista legislativo, non si segnalano nessun superamento dei limiti, fatta eccezione per lo stagno, che come in tutta la regione si trova quasi sempre ad aver concentrazioni superiori al limite A, pari a 1 mg kg⁻¹ [2].

Tabella 6: Valori relativi agli EPT indagati

	MAX mg kg ⁻¹	MIN mg kg ⁻¹	MEDIA mg kg ⁻¹
Be	1,34	1,03	1,14
V	43,45	37	41
Co	11	8,4	9,2
As	17	12,7	14,9
Se	1	0,46	0,54
Mo	1,05	0,81	0,91
Cd	0,3	0,18	0,26
Sb	1,5	1,1	1,28
Tl	0,5	0,38	0,42
Pb	52	40	48
Cr	46	33	39
Cu	23	18	21
Mn	875	635	763
Ni	23	20	21
Zn	93	63	84
Hg	0	0,05	0,07
Sn	2,60	2,2	2,35

1.4 Sito di Interesse Nazionale (SIN) Brescia Agricola

Dai primi anni del Novecento ha preso l'avvio l'attività industriale della città di Brescia, localizzata soprattutto nella zona sud-occidentale della città. Tra i grandi impianti sviluppati in questo periodo, vi è anche la Caffaro. ARPA e ASL hanno condotto delle caratterizzazioni chimiche del suolo e del sottosuolo, dalle quali è emersa una situazione di inquinamento che ha comportato nel 2003 l'inserimento dell'area in questione nei SIN, siti di interesse nazionale.

Gli inquinanti presenti fanno parte della categoria dei PCB e dei PCDD/F, presenti specialmente proprio nell'area agricola del sito. Si suppone che possano essere presenti anche metalli pesanti ed elementi in traccia in generale, specialmente il mercurio.

Visto il comprovato stato qualitativo negativo dei terreni della zona, è necessario continuare a tenere sotto controllo i suoli interessati. A questo proposito è stata presa in considerazione l'area in questione all'interno del Soil Mapping Project. Gli otto punti di campionamento sono stati scelti a partire dalla costruzione di un reticolo dalle maglie quadrate, di lato 200 m (Figura 4).



Figura 4. Posizione geografica e disposizione dei punti campionati

Come previsto dalla legge, l'area in questione è stata esclusa dall'attività agricola. I terreni campionati si presentavano quindi tutti come incolti al momento del

prelievo. Uniche eccezioni sono costituite da S1, sul quale erano presenti qualche vite ed albero da frutto, e da S7 che è invece adibito a verde pubblico.

Dal punto di vista pedologico, questa area si trova inserita nella categoria dei Luvisols. Il pH è subalcalino ed oscilla tra valori pari a 8.0 e 7.5.

La tessitura rientra nella categoria di terreno franco, nel quale mediamente si trova un 44% di sabbia, un 46 % di limo ed un 10% di argilla.

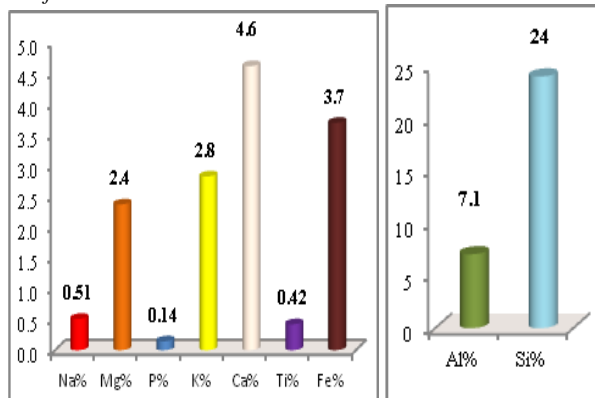
Tabella 7: Parametri agronomici e giudizi[1]

	MEDIA		MIN	MAX
N %	0,18		0,14	0,26
CO %	2,7		2,1	3,2
C/N	14,9		12,4	17,3
SO %	4,6	Elevata	3,7	5,4
CSC (meq/100g)	19,4	Medio - elevata	17,1	22,7
Calcare tot %	6,89	Calcareo	<0,20	17,62

Come riportato in *Tabella 7* la sostanza organica qui presente è elevata, così come il rapporto C/N, che è pari a 17 nel punto maggiore. Da uno sguardo ai valori del rapporto C/N della zona di riferimento, appare che essi tendono ad essere variabili: da molto bassi ad alti. Per quanto riguarda il suo contenuto invece, il sito SIN sembra essere in linea con le zone circostanti.

La capacità di scambio cationico è generalmente medio-elevata, cosa che, paragonata con il pH, potrebbe sfociare in un tasso di saturazione basica prossimo al 100%.

Grafico 4: Percentuali relative al contenuto in macroelementi



L'analisi di spettrometria a fluorescenza a raggi X (*Grafico 4*) ha rivelato un contenuto medio di magnesio maggiore rispetto al fondo trovato nella fase generale (1,2%). Lo stesso vale per il calcio, che ha valori più elevati rispetto al fondo trovato per i Luvisols in Lombardia. Questo terreno quindi si classifica come calcareo.

Tutti gli altri macroelementi hanno contenuti paragonabili ai valori riscontrati nei suoli lombardi.

Per quanto riguarda gli elementi potenzialmente tossici, la situazione è critica, come già noto. In generale gli elementi che hanno rivelato superamenti dei limiti di

legge sono: arsenico, tallio, rame, mercurio, zinco e piombo (*Tabella 8*).

Tabella 8: Valori relativi agli EPT indagati

	MAX mg kg ⁻¹	MIN mg kg ⁻¹	MEDIA mg kg ⁻¹
Be	0,88	0,63	0,74
V	35	29	32
Co	18	10,6	12,6
As	156	20,7	71,0
Se	1	0,76	0,92
Mo	2,1	0,79	1,43
Cd	1,0	0,42	0,68
Sb	3,3	1,2	1,98
Tl	2,1	0,43	0,81
Pb	107	40	59
Cr	59	25	34
Cu	222	69	137
Mn	1842	792	1282
Ni	67	25	41
Zn	625	135	276
Hg	19	0,39	5,87
Sn	9,8	2,1	4,65

L'arsenico supera in 4 punti il limite inferiore (20 mg kg⁻¹): S7, S2, S6, S1. Nei restanti siti supera invece il limite B (50 mg kg⁻¹), con concentrazioni fino tre volte superiori a tale limite. La media per l'arsenico dei valori riscontrati in questo sito è circa 70 mg kg⁻¹. Nella fase generale tale elemento presentava un valore di fondo per i Luvisols pari a circa 23 mg kg⁻¹, e per i Cambisols disposti nella fascia settentrionale della regione di 30 mg kg⁻¹, già superiori a quanto previsto dal limite A del DLgs 152/2006 [2]. Questo sta a significare che in Italia, come noto, l'arsenico ha valori di fondo piuttosto alti per motivi geologici. I quattro punti SIN che superano il limite A si trovano in accordo con la situazione generale, mentre per quanto riguarda i punti la cui concentrazione supera il limite B, questa è ampiamente superiore ai valori di fondo regionali.

Altro elemento la cui concentrazione è superiore ai limiti di legge è il mercurio, il quale dovrebbe essere al di sotto di 1 mg kg⁻¹ per il limite A, e al di sotto di 5 mg kg⁻¹ per il limite B. Sei punti su otto sfiorano tali limiti, due l'A e quattro il B. È opportuno notare che questi ultimi sono gli stessi che hanno superato il limite B per l'arsenico. La contaminazione da mercurio in questo sito è nota, e non ha origini naturali. Dando uno sguardo ai valori ottenuti e paragonandoli a quelli ottenuti nella fase generale se ne ha ulteriore conferma. Il SIN ha infatti una concentrazione media di mercurio pari a circa 6 mg kg⁻¹, contro un fondo di 0,14 mg kg⁻¹ per i Luvisols e 0,12 mg kg⁻¹ a livello dell'intera regione.

Sembra inoltre che la presenza di arsenico e mercurio nei punti a maggior concentrazione, ricalchi una plume di dispersione, come è possibile notare nella Figura 5.

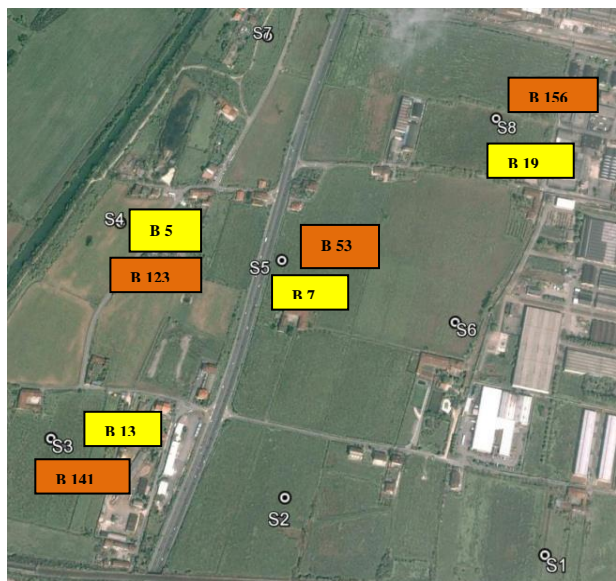


Figura 5. Punti a maggior concentrazione di arsenico (arancio) e mercurio (giallo)

Il *Grafico 5* rappresenta invece la correlazione tra i due elementi. Anche zinco e piombo hanno superato i limiti di legge previsti. Lo zinco in sei casi su otto (S1, S3, S4, S5, S7, S8) ha superato il limite A pari a 150 mg kg^{-1} , con una media pari a 276 mg kg^{-1} . Tale valore è doppio rispetto a quello che rappresenta il fondo dei terreni Luvisol.

Il piombo supera il limite A esattamente negli stessi punti visti per lo zinco. Esso ha mostrato valori pari al doppio e perfino a sei volte il limite di 100 mg kg^{-1} . Rispetto al fondo la media di 203 mg kg^{-1} è più che doppia.

Vale la pena notare che in tutti i casi il valore più elevato è stato riscontrato nel punto S8. Sotto si riportano i grafici relativi alle diverse correlazioni trovate fra i vari elementi che hanno mostrato superamenti ai limiti di legge (*Grafico 6,7,8,9*).

Anche il rame ha manifestato concentrazioni superiori ai limiti di legge, e sempre negli stessi punti già precedentemente citati, con una media pari a 137 mg kg^{-1} rispetto al limite di 120 mg kg^{-1} . Il valore di fondo per i suoli Luvisol è invece pari a 46 mg kg^{-1} .

Il tallio ha superato il limite A di 1 mg kg^{-1} con un valore pari a $2,2 \text{ mg kg}^{-1}$, nel punto S8. Gli altri punti sono invece omogeneamente distribuiti intorno allo $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ed abbastanza in linea con i valori di fondo.

Grafico 5: Correlazione fra arsenico e mercurio

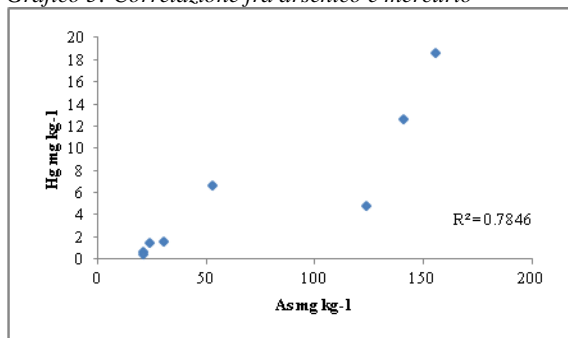


Grafico 6: Correlazione fra zinco e piombo

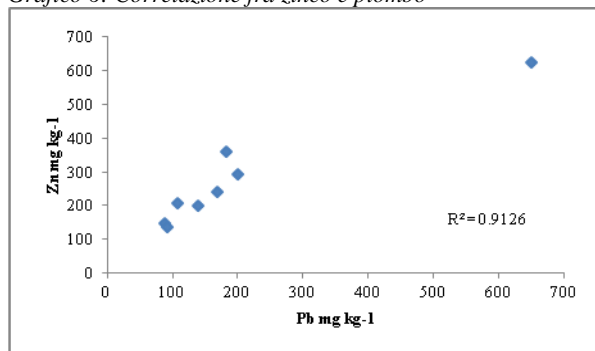


Grafico 7: Correlazione fra mercurio e piombo

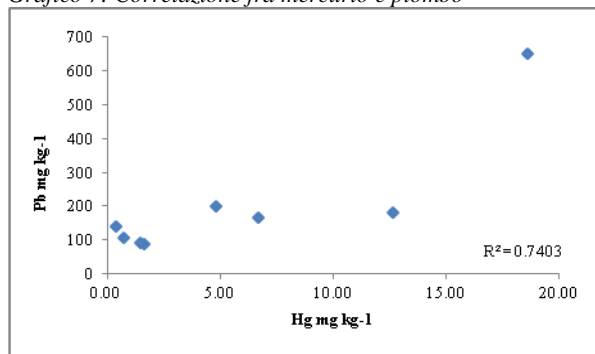


Grafico 8: Correlazione fra arsenico e zinco

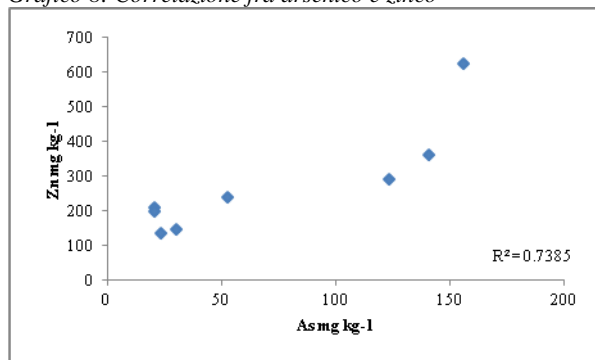
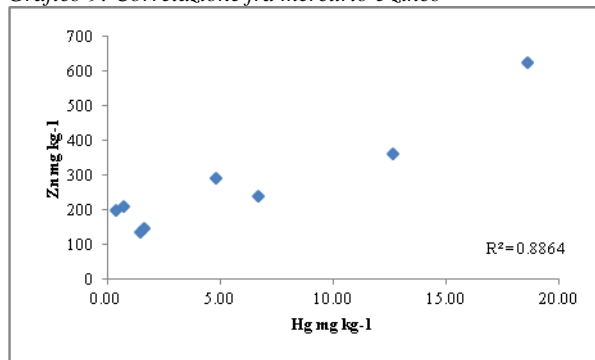


Grafico 9: Correlazione fra mercurio e zinco



In generale anche per gli elementi dove non sono stati riscontrati superamenti ai limiti di legge, il punto S8 ha dimostrato di possedere concentrazioni più elevate e diverse rispetto alle medie. Questo vale per i seguenti

elementi: cobalto, selenio, cadmio, antimonio, nichel e stagno. Se si escludono tali valori, il sito SIN, in merito agli elementi appena citati, è in linea con i valori di fondo dei Luvisols.

1.5 Area soggetta alla dispersione di cromo esavalente nelle acque sotterranee

La motivazione che ci ha spinti a prendere in considerazione quest'area compresa tra cinque comuni lombardi è la diffusione in passato di cromo esavalente nelle acque (Figura 7). Questa specie del cromo rappresenta un pericolo concreto per la salute umana essendo stato dichiarato cancerogeno in seguito ad evidenze sperimentali. Risulta quindi estremamente importante la sua individuazione in matrici quali acqua e suolo, al fine di verificare il rispetto dei limiti imposti dalla legge a tutela della salute.

Nel corso di questa fase di lavoro sono stati effettuati 14 campionamenti, che hanno consentito di operare un monitoraggio preliminare, dal quale ricavare informazioni circa la presenza effettiva del cromo esavalente, ma anche di altri metalli pesanti ed inquinanti organici.

I punti sono situati ai lati dei paesi in questione nelle immediate vicinanze, in direzione ovest, est, e nelle direzioni nord e sud rispetto ai due comuni al limite dell'area considerata (Figura 6).

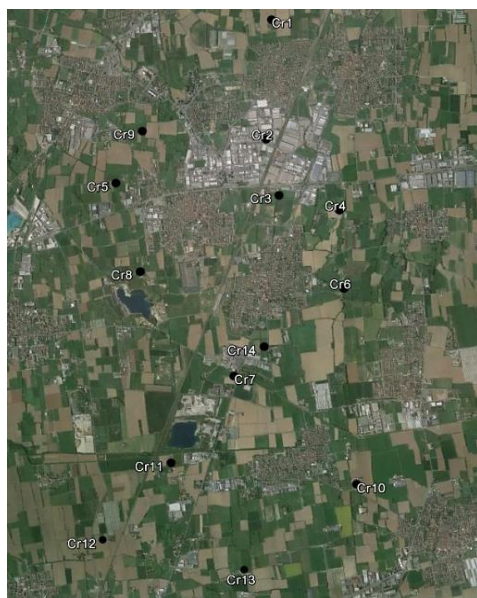


Figura 6. Posizione geografica e disposizione dei punti campionati

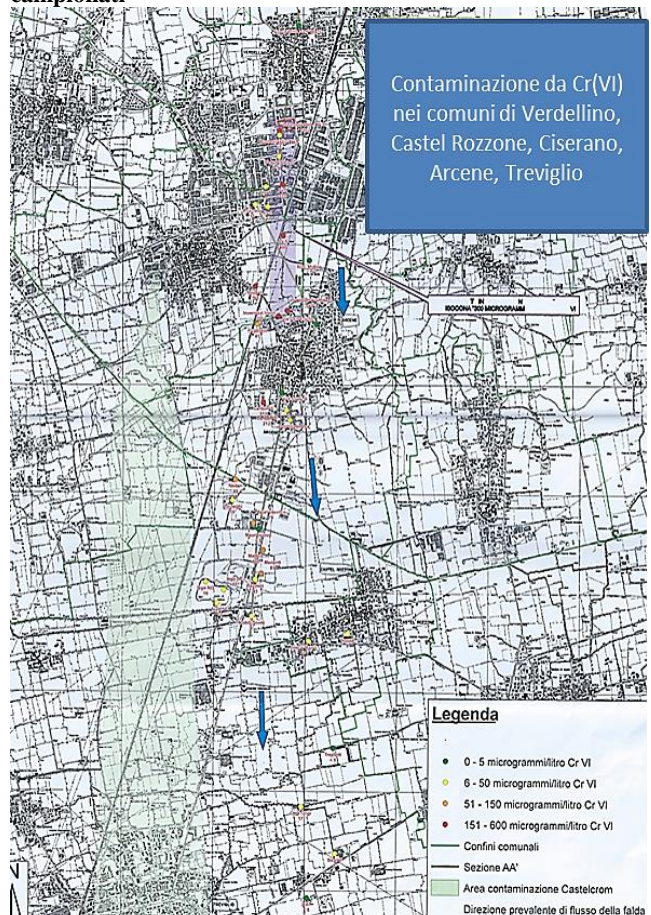


Figura 7. Mappa di dispersione del cromo esavalente nelle acque di falda

I terreni della zona presa in considerazione ricadono nella categoria dei Luvisols. Il pH, considerando anche l'estensione di tale area (25,6 km²), è abbastanza variabile, con valori subacidi (CR4,6,14 e 12), subalcalini (CR2,5 e 11) e neutri nella maggior parte dei casi. In generale il pH oscilla tra 6,2 e 7,7.

Anche dal punto di vista tessiturale, la distribuzione delle terre fini varia all'interno della superficie in esame. Il limo è presente con valori oscillanti tra il 43 ed il 66%, essendo la componente maggiormente presente; l'argilla tra il 5,6 ed il 23,5% essendo la classe meno presente.

I valori di pH e di composizione tessiturale simili non sono distribuiti secondo linee preferenziali.

Il tenore in sostanza organica oscilla tra l'1,96% ed il 4,57%, con una media pari al 3,07%. Dato tale valore e vista la percentuale di argilla, la zona sembra essere mediamente dotata di una quantità soddisfacente di sostanza organica. Il rapporto C/N è però in media leggermente inferiore al 9, ed è compreso tra il 7,5 ed il 10,2. Nella maggior parte dei casi è circa pari a 8. Questo indica una tendenza alla mineralizzazione della sostanza organica qui presente. Tali parametri sono in accordo con quanto riscontrato in fase generale per la zona cui l'area in questione appartiene. Questo vale anche per la capacità

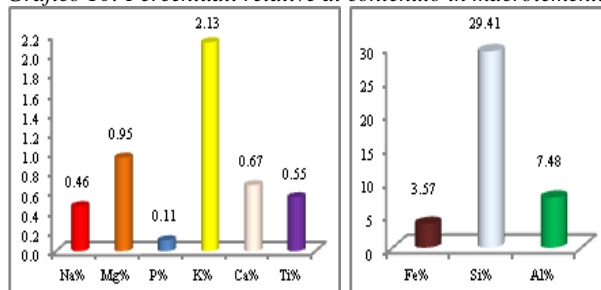
di scambio cationico, che si rivela medio-bassa, con un valore medio di circa 13 (*Tabella 9*).

Tabella 9: Parametri agronomici e giudizi[1]

	media	valutazione	min	max
N %	0,21		0,12	0,32
CO %	1,78		1,14	2,65
C/N	8,6		7,5	10,2
SO %	3,07	Soddisfacente	1,96	4,57
CSC (meq/100g)	13,4	Media	9,8	19
Calcare tot %	<0,20	Non calcareo	<0,20	<0,20

Per quanto riguarda i macroelementi il *Grafico 10* riporta le percentuali medie ottenute dall'analisi XRF.

Grafico 10: Percentuali relative al contenuto in macroelementi



Anche in questo caso, i valori riscontrati sono in linea con le medie e mediane relative alla fase generale in merito ai Luvisols.

Dal punto di vista del fosforo l'area risulta esserne scarsamente dotata-povera; per il potassio i valori ne indicano una dotazione ricca.

Tabella 10: Valori relativi agli EPT indagati

	MAX mg kg ⁻¹	MIN mg kg ⁻¹	MEDIA mg kg ⁻¹
Be	1,10	0,74	0,93
V	43	31	37
Co	19	9,0	12,6
As	27	13,2	18,3
Se	1,05	0,69	0,88
Mo	4,2	0,76	1,46
Cd	2,2	0,30	0,61
Sb	4,1	1,2	2,01
Tl	0,68	0,28	0,43
Pb	136	40	57
Cr	87	25	41
Cu	519	24	72
Mn	1953	440	1247
Ni	107	20	33
Zn	739	96	175
Hg	0,60	0,11	0,18
Sn	7,0	1,0	2,19

La *Tabella 10* mostra le diverse concentrazioni minime massime e medie per tutti gli elementi indagati.

Sei elementi appartenenti alla categoria degli elementi potenzialmente tossici hanno superato il limite A del D.Lgs. 152/2006 [2]. Uno di questi è lo stagno, che come ormai noto, supera quasi sempre il limite di 1 mg kg⁻¹, presentando una concentrazione media di 2,2 mg kg⁻¹, rientrando nel fondo trovato in fase generale (3 mg kg⁻¹). Gli altri superamenti riguardano soprattutto l'arsenico, ma anche il piombo, il rame e lo zinco.

Anche nel caso dell'arsenico abbiamo già avuto modo di appurare che in diverse zone della regione lombarda esso supera il limite A di 20 mg kg⁻¹, per questioni geologiche. Sei punti su 14 mostrano un superamento di tale soglia, che oscilla tra i 21 ed i 25 mg kg⁻¹. I punti in questione si trovano nella fascia occidentale dell'area, ovvero quella più adiacente ai primi rilievi montuosi ed anche all'altra area riccamente dotata di arsenico, costituita dai Cambisols settentrionali, dove il fondo da noi trovato in fase generale era pari a 30 mg kg⁻¹. Tale valore nel caso dei Luvisols è inferiore, essendo pari a 23 mg kg⁻¹.

Lo zinco presenta un valore limite A di 150 mg kg⁻¹. I superamenti hanno riguardato i punti CR2, CR5, CR7 e CR8. Il superamento riscontrato nel punto cr2 è però ben più significativo degli altri, essendo pari a 739 mg kg⁻¹, mentre per gli altri tre, il valore più alto era di 213 mg kg⁻¹.

Gli altri superamenti (piombo e rame) riguardano un solo punto dell'area campionata, il cr2. I valori che questi elementi assumono in tale punto, oltre a superare il limite A, sono molto diversi dai valori riscontrati nel resto dell'area campionata, che si rivelano sempre piuttosto omogenei. Questa discrepanza è stata analizzata per confermare o smentire la natura di outlier per gli elementi in questione, attraverso la costruzione di box plot. Da tale operazione abbiamo ottenuto che nel caso di molibdeno, cadmio, antimonio, piombo, rame, nichel, zinco, mercurio e stagno, il punto cr2 assume valori ritenuti outlier, sia in caso di superamento di legge, sia per quegli elementi al di sotto dei limiti consentiti. Questo rivela una differenza sostanziale fra il punto in questione ed il resto dell'area, differenza che non evince invece dal punto di vista strutturale (pH, tessitura ect.). Il punto sembra ricadere in un'area fortemente industrializzata (**Figura 8**).



Figura 8. Area di raccolta dei campioni di suolo

Da uno sguardo ad i valori di fondo rilevati in fase generale per i Luvisols, l'area mostra una concentrazione media di cobalto leggermente superiore (12,6 mg kg⁻¹

contro $12,3 \text{ mg kg}^{-1}$); stessa cosa vale per il tallio ($0,43$ contro $0,40 \text{ mg kg}^{-1}$). Per i restanti elementi, esclusi i valori associati al punto CR2, le concentrazioni sono in linea con il contesto.

Per quanto riguarda il problema principale di questa area, ovvero la diffusione di acque contaminate da cromo esavalente, si è voluto verificare se questa avesse determinato superamenti dei limiti di legge anche nei terreni. Il cromo esavalente infatti manifesta la sua maggior pericolosità in caso di inalazione. La presenza di tale elemento potrebbe quindi rappresentare una fonte di pericolo per la salute degli operatori agricoli durante lo svolgimento di alcune pratiche come l'aratura.

Il D.Lgs impone come limiti 2 mg kg^{-1} (A) e 10 mg kg^{-1} (B).

Le tecniche attualmente utilizzate per la quantificazione del cromo esavalente in matrici solide non ne consentono una stima precisa e ripetibile, a causa delle reazioni di ossido riduzione che avvengono in fase analitica. Per ovviare a questi problemi siamo ricorsi ad un'innovativa e promettente tecnica: la spettrometria di massa associata alla diluizione isotopica, che ci ha permesso di individuare la concentrazione di cromo esavalente nei terreni in questione. Ne è emerso che un solo punto supera il limite A, con un valore di $2,40 \text{ mg kg}^{-1}$. Dato che lo sfioramento ha riguardato il limite più restrittivo, solitamente costruito cercando di fare riferimento al fondo naturale, non possiamo ritenere quest'unico punto contaminato e pericoloso per la salute umana.

1.6 Area sede di una fonderia dismessa nei pressi del comune di Darfo Boario Terme (BS)

Il nostro obiettivo era quello di ricercare un'area che comprendesse un'industria nel campo della siderurgia, e di testare la qualità dei suoli nelle vicinanze.

Questo tipo di attività era un tempo largamente diffusa nella Regione, ed in particolar modo nella zona di Boario Terme. Oggi, alla ricerca del nostro obiettivo, abbiamo scoperto che molte delle industrie in questione sono ormai chiuse. Così abbiamo pensato di prenderne in considerazione una dismessa, alla luce dei tanti anni di presenza sul territorio. Anche in questo caso la disposizione dei punti segue delle direttrici principali, a distanza di 500 e 1000 metri dallo stabilimento (Figura 9).

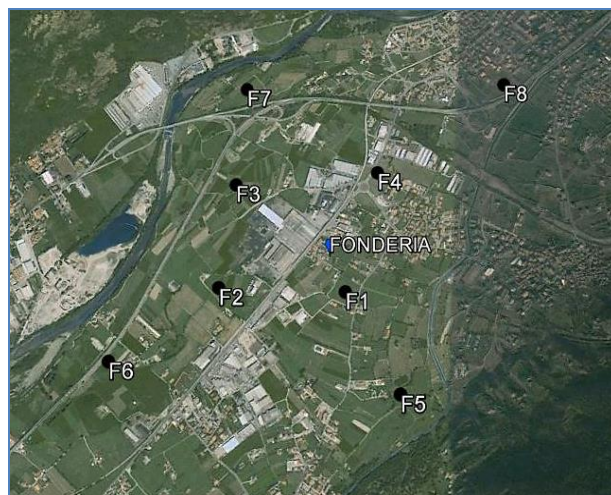


Figura 9. Posizione geografica e disposizione dei punti campionati

I terreni campionati in quest'area appartengono alla categoria dei Cambisols, che per maggior precisione avevamo nella prima fase suddiviso fra nord e sud. La vicinanza dell'arco alpino da una parte, e quella del fiume Po dall'altra, comporta delle differenze. In questo caso il riferimento è la categoria settentrionale.

Il sito si trova ai piedi di un rilievo, ed è attraversato da un corso d'acqua. La superficie totale è inferiore a 5 km^2 e il dislivello tra il punto più alto e quello più basso è di una ventina di metri. L'unico punto ricadente in un campo dedicato alla produzione di mais è l'F6. Le altre zone sono adibite a pascolo e prato stabile.

I valori di pH riscontrati sono molto diversi tra loro. Nei punti F1 e F5 sono inferiori a 6 (pH acido), compresi tra 6 e 6,5 (subacidi) in F4 e F8, neutri in F2 e F3, subalcalini ($> 7,5$) in F6 e F7.

Dal punto di vista tessiturale in questi terreni prevale la sabbia, che mediamente è presente al 60%, mentre l'argilla oscilla tra lo 0,5 ed il 2,2%.

La capacità di scambio cationico è media, ma nello specifico è bassa (< 10) in F7, medio alta (15-20) in F2, F5 e F8, compresa tra 10 e 15 negli altri punti.

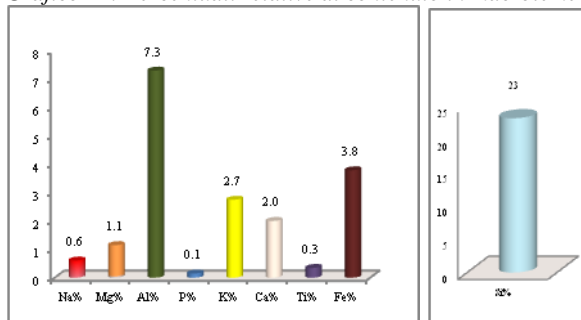
La sostanza organica oscilla tra il giudizio di soddisfacente ed elevato, con valori più alti degli altri in F8, F5 e F2, proprio dove la CSC era più elevata.

Il rapporto C/N è leggermente inferiore a 9 in F5 e superiore a 11 in F6, ma per il resto ricade nella fascia ottimale (Tabella 11).

Tabella 11: Parametri agronomici e giudizi[1]

	Media		Max	Min
N %	0,22		0,33	0,14
CO %	2,2		3,3	1,6
C/N	9,9		11,6	8,7
SO %	3,8	Soddisfacente - elevata	5,7	2,8
CSC (meq/100g)	13,4	Media	19	9,8
Calcare tot %	1,72	Non calcareo	6,46	<0,20

Grafico 11: Percentuali relative al contenuto in macroelementi



I macroelementi rientrano nei valori trovati in generale per i suoli della categoria Cambisols (nord). Il calcio è l'unico elemento che presenta due punti con valori molto diversi dagli altri, che invece sono piuttosto simili. I punti in questione sono F6 ed F7, nei quali il pH e la presenza di calcare totale attorno al 6-6,5% ne giustificano il valore (Grafico 11).

Degli EPT indagati (Tabella 12) solo lo zinco e l'arsenico sfiorano i limiti, ad eccezione dello stagno che ancora una volta rivela un problema insito nella formulazione di tale limite.

Tabella 12: Valori relativi agli EPT indagati

	MAX mg kg ⁻¹	MIN mg kg ⁻¹	MEDIA mg kg ⁻¹
Be	0,81	0,56	0,74
V	27	14,2	20
Co	13	8	10,7
As	115	25	58
Se	1	0,4	0,49
Mo	1,51	0,99	1,15
Cd	0,4	0,27	0,33
Sb	1,7	0,87	1,20
Tl	0,4	0,21	0,33
Pb	82	25	55
Cr	23	14	19
Cu	96	30	46
Mn	1135	649	919
Ni	25	13	21
Zn	157	103	124
Hg	0,10	0	0,08

Sn	3,4	0,92	1,57
----	-----	------	------

Lo zinco supera di 7 mg kg⁻¹ il limite A nel punto f2. Il resto dei punti mostra una concentrazione per questo elemento intorno ai 120 mg kg⁻¹. In generale i punti analizzati nella prima fase ed appartenenti alla categoria dei Cambisols nord presenta un valore di fondo di zinco di 146 mg kg⁻¹, molto prossimo al limite di legge.

Per l'arsenico invece tutti i punti hanno superato i limiti di legge, sia l'A che il B. In generale questa categoria di suoli e la posizione geografica rendono più alta la concentrazione di tale elemento. Il fondo da noi trovato infatti era di 30 mg kg⁻¹.

I punti che hanno superato il limite A (20 mg kg⁻¹) sono F7, F6, F2 e F5; il valore maggiore in essi riscontrato è 42 mg kg⁻¹ in F2. Per quanto riguarda i superamenti del limite B (50 mg kg⁻¹) i punti più vicini alla fonderia (F1, F3 e F4) hanno valori oscillanti fra 52 e 115 mg kg⁻¹; F8 invece mostra una concentrazione di 85 mg kg⁻¹.

1.7 Area adiacente ad un cementificio nel comune di Broni (PV)

Lo stabilimento apre nel 1962, occupa una superficie di 4,6 ha e produce 240.000 t di clinker all'anno e 380.000 t di cemento all'anno. L'attività è impegnata a ridurre il rischio di contaminazione del suolo e svolge il ripristino delle cave dismesse.

Per quanto riguarda le emissioni di polveri, biossido di zolfo ed ossidi di azoto, vengono usati sistemi di filtraggio ed abbattimento, ed i loro valori sono costantemente monitorati 24 ore su 24.

La qualità dell'aria viene inoltre testata anche attraverso l'analisi del miele prodotto da api appositamente collocate all'interno del perimetro dello stabilimento.

I punti sono situati su tre direttrici aventi un'apertura angolare di circa 60°, e vanno a coprire l'area circostante lo stabilimento in cui vi sono gli appezzamenti agricoli.

In totale abbiamo previsto nove punti di campionamento, ad una distanza di 500 m, 1000 m e 1500 m dal cementificio (Figura 10).

L'area campionata rientra nella categoria dei Cambisols sud, ma è vicina all'appennino pavese, nel quale si riscontra anche la categoria Regosol.

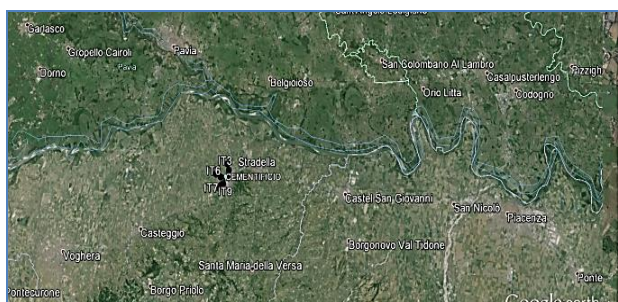


Figura 10. Posizione geografica e disposizione dei punti campionati

La vicinanza di uno stabilimento nel quale sono presenti anche parti di amianto ha reso necessaria una verifica circa la sua eventuale presenza anche nei terreni. L'analisi specifica non ne ha però rivelato traccia.

I punti IT2, IT4, IT 5, IT 8, IT 9 rappresentano campi coltivati a cereali; IT 1, IT 3 e IT 6 medicaie e IT 7 è un terreno incolto, ex vigneto.

Il pH è compreso tra 7,5 e 8,1, è quindi sub-alcalino-alcalino.

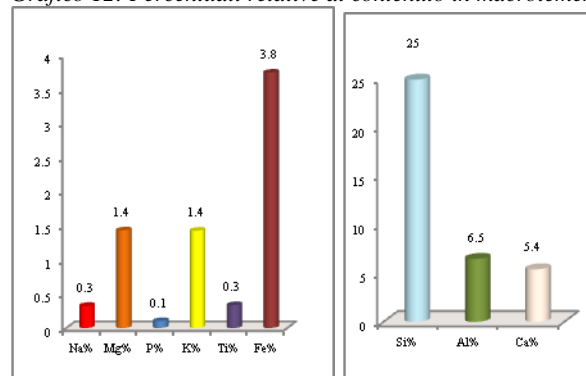
In quest'area la tessitura è soprattutto composta da limo (44%) ed argilla (40%). La capacità di scambio cationico è però risultata bassa, con valori compresi tra 5,87 e 12,0. La sostanza organica, considerati i valori di argilla, è molto modesta. Il rapporto C/N però è ottimale, essendo circa pari a 10.

Rispetto alle altre aree indagate, qui il calcare ha percentuali maggiori, oscillanti fra 4,20% (IT 3) e 15,3% (IT 9), mostrando un andamento dipendente dalla direzione cardinale (Tabella 13).

Tabella 13: Parametri agronomici e giudizi[1]

	Media		Max	Min
N %	0,14		0,21	0,11
CO %	1,42		1,83	0,93
C/N	10,6		12,8	8,6
SO %	2,46	Molto modesta	3,16	1,60
CSC (meq/100g)	9,7	Bassa	12,0	5,9
Calcare totale %	10,8	Suolo calcareo	15,3	4,2

Grafico 12: Percentuali relative al contenuto in macroelementi



Per quanto riguarda i macroelementi (Grafico 12) l'area presenta valori simili a quanto da noi riscontrato in fase generale per Cambisols sud.

Tabella 14: Valori relativi agli EPT indagati

	MAX mg kg ⁻¹	MIN mg kg ⁻¹	MEDIA mg kg ⁻¹
Be	1,27	0,87	1,08
V	52	36	43
Co	18	15,5	16,4
As	9	6,7	7,7
Se	1	0,54	0,60
Mo	1,18	0,49	0,76
Cd	0,3	0,24	0,26
Sb	0,5	0,41	0,45
Tl	0,4	0,2	0,27
Pb	31	16,2	21
Cr	79	64	70
Cu	364	40	192
Mn	1228	872	999
Ni	69	61	64
Zn	130	78	104
Hg	0	0	0,05
Sn	5,2	0,83	2,0

Fra gli elementi potenzialmente tossici indagati (Tabella 14) lo stagno ha presentato 8 superamenti del limite A su 9 campioni, con il punto IT 8 che, con un valore di 5,2 mg kg⁻¹ rappresenta però un outlier. I due punti adiacenti hanno infatti una concentrazione ben più bassa.

L'unico altro elemento che in questa area sfiora il limite A è il rame. I punti in questione sono: IT 8, IT 7, IT 4, IT 5 e IT 6, con valori compresi tra 211 e 365 mg kg⁻¹. IT 9 e IT 3, pur essendo in due punti completamente opposti, sono

gli unici ad avere una concentrazione di rame completamente diversa ed inferiore ($40\text{-}50\text{ mg kg}^{-1}$). La media per il rame in questa area è di 192 mg kg^{-1} , contro un fondo per i Cambisols sud di 80 mg kg^{-1} , e una media per i punti Regosols adiacenti pari a 40 mg kg^{-1} .

Per gli altri elementi non sono stati riscontrati superamenti ai limiti di legge, e generalmente, essi presentano valori omogenei all'interno dell'area. Questo non vale nel caso dello zinco, per il quale IT 7 presenta una concentrazione di 130 mg kg^{-1} , valore outlier. Gli altri punti presentano concentrazioni comprese fra 78 e 118 mg kg^{-1} .

Il molibdeno ha un valore medio leggermente più elevato ($0,78\text{ mg kg}^{-1}$), rispetto al fondo della prima fase ($0,64\text{ mg kg}^{-1}$).

2. Conclusioni

Le sette aree indagate in questa seconda parte del Soil Mapping presentavano ognuna delle particolari criticità ambientali, alcune accertate (SIN, area dispersione Cr(VI), ed altre invece solo potenziali. Nella selezione ci siamo proposti di verificare che impatto potessero avere alcune attività antropiche particolarmente degne di essere monitorate. Si trattava di un inceneritore, una fonderia, un impianto di rigenerazione di oli esausti, un cementificio. Infine, per indagare anche un tipo di impatto diverso,

quello veicolare, abbiamo inserito un'area adiacente ad un'uscita autostradale.

Com'è possibile immaginare, dal punto di vista chimico-fisico l'area che ha presentato le maggiori problematiche è il SIN, dove sono stati riscontrati diversi sforamenti dei limiti di legge, specie per quanto riguarda il mercurio, l'arsenico, il piombo, lo zinco ed il rame. Sicuramente l'origine di tale contaminazione è antropica. L'arsenico ha raggiunto valori elevati anche nell'area adiacente alla fonderia dismessa di Darfo Boario Terme, dove le concentrazioni erano superiori al limite legislativo più elevato.

Per quanto riguarda l'area di dispersione del cromo esavalente nelle acque sotterranee un solo punto ha rivelato la presenza contemporanea di più elementi superiori al limite tabellare A (arsenico, cadmio, zinco, piombo e rame). Abbiamo invece potuto appurare che non vi è contaminazione di Cr(VI) nel suolo.

L'area adiacente al cementificio di Broni mostra come unica problematica la presenza di rame oltre il limite A imposto dal D.lgs 152/2006, essendo zona dedicata alla coltivazione di vigneti.

Le rimanenti aree di Origgio (tratto autostradale), Parona (inceneritore) e Viscolube non hanno rivelato particolari problemi di inquinamento.

APPENDICE: risultati analitici delle sette aree indagate

Tabella 15: Risultati relativi ai campioni provenienti dall'area adiacente all'impianto di rigenerazione di oli esausti Viscolube (LO)

sigla	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
pH	5,89	6,25	6,02	6,11	6,61	5,96	6,46	6,32
argilla %	2,26	7,38	4,65	6,08	6,66	9,48	5,88	3,60
Limo %	34,05	47,95	45,94	47,80	48,35	50,82	47,70	37,92
Sabbia %	63,69	44,67	49,41	46,12	44,99	39,70	46,42	58,48
CSC meq/100 g	15	18	15,6	15,1	17,5	14,8	17,3	16,9
N %	0,17	0,24	0,15	0,17	0,18	0,14	0,21	0,22
C %	1,40	1,98	1,26	1,32	1,54	1,14	1,74	1,83
Calcare %	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
C inorg %	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
C org %	1,40	1,98	1,26	1,32	1,54	1,14	1,74	1,83
C/N	8,01	8,27	8,26	7,89	8,43	8,32	8,47	8,24
SO %	2,41	3,41	2,18	2,27	2,65	1,97	3,01	3,16
Na %	0,94	0,87	1,03	1,01	0,91	0,86	1,00	1,14
Mg %	0,83	0,96	1,11	1,08	0,96	0,83	1,02	1,05
Al %	6,63	7,25	7,15	4,36	7,01	6,63	6,93	6,51
Si %	29,80	28,60	28,20	29,50	29,20	28,90	28,70	28,70
P %	0,20	0,10	0,18	0,10	1,14	0,13	0,30	0,18
K %	1,61	1,84	1,71	1,62	0,81	1,68	1,87	1,89
Ca %	1,02	0,76	1,25	1,12	0,93	0,83	1,24	1,91
Ti %	0,41	0,49	1,48	0,49	0,48	0,49	0,46	0,47
Fe %	2,39	3,07	2,91	2,79	2,81	2,84	2,77	2,70
Be mg kg ⁻¹	0,58	0,74	0,57	0,63	0,66	0,64	0,58	0,58
V mg kg ⁻¹	31	34	29	13	33	31	29	33
Co mg kg ⁻¹	7,2	9,7	7,6	7,7	8,5	8,0	8,0	7,4
As mg kg ⁻¹	8,1	12,8	12,0	9,9	10,7	10,6	12,6	9,5
Se mg kg ⁻¹	0,50	0,62	0,59	0,53	0,61	0,63	0,64	0,57
Mo mg kg ⁻¹	0,19	0,13	0,18	0,12	0,20	0,16	0,22	0,38
Cd mg kg ⁻¹	0,26	0,22	0,25	0,16	0,27	0,20	0,30	0,29
Sb mg kg ⁻¹	0,38	0,50	0,44	0,32	0,44	0,40	0,46	0,48
Tl mg kg ⁻¹	0,25	0,23	0,16	0,21	0,19	0,19	0,19	0,22
Pb mg kg ⁻¹	46	29	22	40	28	28	24	31
Cr mg kg ⁻¹	33	43	50	42	42	36	43	43
Cu mg kg ⁻¹	29	29	25	20	24	23	51	32
Mn mg kg ⁻¹	631	544	369	415	564	492	489	396
Ni mg kg ⁻¹	24	32	33	31	28	26	31	31
Zn mg kg ⁻¹	90	88	69	65	73	68	161	90
Hg mg kg ⁻¹	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,12
Sn mg kg ⁻¹	0,96	1,10	0,95	0,95	0,97	3,8	1,02	1,24

Tabella 16: Risultati relativi ai campioni provenienti dall'area adiacente al transetto autostradale nei pressi di Origgio (VA)

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

sigla	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
pH	4,69	5,23	5,32	5,36	4,66	4,88	5,32	5,44
argilla %	9,44	10,31	14,14	14,34	12,06	16,89	13,90	11,53
limo%	40,57	43,23	43,86	41,52	39,60	44,29	42,63	42,16
sabbia%	49,99	46,47	42,00	44,14	48,34	38,82	43,48	46,31
CSC meq/100 g	11,81	13,32	12,31	12,84	9,72	8,82	12,84	11,38
N %	0,14	0,15	0,12	0,15	0,12	0,16	0,16	0,16
C %	1,47	1,47	1,25	1,48	1,14	1,58	1,65	1,48
Calcare %	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
C inorganico %	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
C organico %	1,47	1,47	1,25	1,48	1,14	1,58	1,65	1,48
C/N	10,62	9,91	10,06	9,89	9,09	9,82	10,03	9,37
SO %	2,53	2,54	2,16	2,56	1,96	2,73	2,85	2,56
Na %	0,46	0,46	0,40	0,39	0,27	0,36	0,34	0,36
Mg %	0,76	0,74	0,73	0,76	0,38	0,69	0,68	0,72
Al %	8,17	7,73	8,10	8,76	4,54	7,89	8,19	8,34
Si %	26,70	26,60	26,70	26,90	21,40	25,60	25,70	26,30
P %	0,13	0,15	0,17	0,17	0,08	0,13	0,17	0,16
K %	1,74	1,71	1,64	1,64	1,02	1,56	1,51	1,55
Ca %	0,41	0,48	0,47	0,45	0,26	0,32	0,38	0,37
Ti %	0,45	0,46	0,46	0,45	0,33	0,44	0,43	0,43
Fe %	3,41	3,34	3,51	3,63	1,98	3,66	3,64	3,65
Be mg kg⁻¹	1,07	1,03	1,15	1,19	1,34	1,15	1,08	1,14
V mg kg⁻¹	41	38	43	43	49	42	44	42
Co mg kg⁻¹	8,4	9,2	9,2	9,5	11,0	9,4	8,7	8,7
As mg kg⁻¹	14,1	16,3	12,9	14,9	17,1	16,0	14,7	14,7
Se mg kg⁻¹	0,52	0,46	0,56	0,59	0,58	0,49	0,55	0,54
Mo mg kg⁻¹	0,16	0,24	0,26	0,25	0,10	0,16	0,22	0,21
Cd mg kg⁻¹	0,18	0,25	0,27	0,27	0,33	0,20	0,31	0,25
Sb mg kg⁻¹	1,19	1,47	1,11	1,19	1,41	1,24	1,26	1,23
Tl mg kg⁻¹	0,39	0,38	0,39	0,51	0,51	0,41	0,40	0,39
Pb mg kg⁻¹	50	52	46	51	40	49	48	47
Cr mg kg⁻¹	38	34	46	41	33	40	40	39
Cu mg kg⁻¹	21	22	23	22	18	22	21	20
Mn mg kg⁻¹	721	849	875	782	693	773	635	775
Ni mg kg⁻¹	21	20	23	22	20	22	22	21
Zn mg kg⁻¹	83	93	92	88	63	81	85	84
Hg mg kg⁻¹	0,06	0,10	0,07	0,08	0,05	0,08	0,09	0,08
Sn mg kg⁻¹	2,4	2,5	2,3	2,2	2,6	2,3	2,2	2,3

Tabella 17: Risultati relativi ai campioni provenienti dall'area adiacente allo stabilimento ITALCEMENTI di Broni (PV)

sigla	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9
pH	7,51	7,72	7,81	7,88	7,87	8,07	8,04	8,02	7,78
argilla %	36,04	36,18	46,48	42,89	38,50	48,89	39,66	33,25	33,65
limo %	45,97	45,90	41,89	48,81	33,29	42,57	43,92	44,75	47,68
sabbia %	17,99	17,92	11,62	8,30	28,20	8,54	16,42	22,00	18,67
CSC meq/100 g	12,00	8,67	11,22	11,43	9,60	5,87	7,60	9,82	11,05
N %	0,21	0,12	0,15	0,12	0,11	0,11	0,15	0,11	0,15
C %	2,85	2,04	1,88	2,91	2,52	2,61	2,95	3,17	3,52
Calcare %	8,48	6,20	4,20	12,61	13,20	12,43	9,86	14,45	15,33
C inorganico %	1,02	0,74	0,50	1,51	1,59	1,49	1,18	1,74	1,84
C organico %	1,83	1,30	1,38	1,39	0,93	1,12	1,76	1,44	1,67
C/N	8,64	11,05	9,16	11,76	8,72	9,78	12,03	12,80	11,40
SO %	3,16	2,24	2,37	2,40	1,60	1,92	3,04	2,48	2,89
Na %	0,33	0,43	0,35	0,29	0,29	0,28	0,30	0,34	0,33
Mg %	1,42	1,52	1,47	1,36	1,37	1,39	1,38	1,50	1,51
Al %	6,85	7,02	6,97	6,32	6,31	6,33	6,56	6,31	5,69
Si %	24,90	25,90	24,90	24,10	25,20	24,80	25,10	25,10	24,60
P %	0,10	0,11	0,10	0,09	0,11	0,10	0,11	0,10	0,11
K %	1,55	1,56	1,49	1,51	1,35	1,45	1,51	1,31	1,14
Ca %	4,74	3,79	2,73	6,09	5,47	5,68	5,23	7,36	7,59
Ti %	0,38	0,34	0,34	0,32	0,37	0,36	0,37	0,29	0,27
Fe %	3,98	3,91	4,44	3,68	3,64	3,71	3,83	3,33	3,26
Be mg kg⁻¹	1,18	1,03	1,27	1,19	1,00	1,18	1,06	0,87	0,90
V mg kg⁻¹	51	45	56	52	44	49	46	39	39
Co mg kg⁻¹	16,4	16,7	17,7	16,2	18,2	17,1	16,1	16,5	15,9
As mg kg⁻¹	7,7	7,5	8,6	6,8	9,3	7,5	7,8	7,5	7,2
Se mg kg⁻¹	0,54	0,55	0,60	0,56	0,69	0,62	0,63	0,61	0,61
Mo mg kg⁻¹	0,52	0,62	0,52	0,52	0,93	1,22	0,86	0,75	1,07
Cd mg kg⁻¹	0,24	0,24	0,25	0,25	0,28	0,28	0,31	0,26	0,27
Sb mg kg⁻¹	0,52	0,45	0,44	0,42	0,43	0,44	0,46	0,46	0,35
Tl mg kg⁻¹	0,40	0,27	0,28	0,27	0,23	0,24	0,33	0,21	0,20
Pb mg kg⁻¹	15,6	20,4	20,4	19,3	20,7	20,1	20,6	18,5	16,2
Cr mg kg⁻¹	70	69	79	69	69	74	67	68	64
Cu mg kg⁻¹	105	113	54	266	315	211	364	261	40
Mn mg kg⁻¹	873	951	968	872	1228	990	977	1071	1065
Ni mg kg⁻¹	64	63	69	63	63	66	61	63	61
Zn mg kg⁻¹	104	93	102	99	118	106	130	103	78
Hg mg kg⁻¹	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05	0,08	0,05	0,05	0,04
Sn mg kg⁻¹	2,5	2,1	1,4	1,8	1,6	1,5	1,5	5,2	0,8

Tabella 18: Risultati relativi ai campioni provenienti dall'area SIN Brescia Agricola

sigla	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
pH	7,47	7,65	7,77	7,76	7,85	7,87	7,92	7,68
argilla %	9,38	6,70	6,58	6,82	14,14	9,38	7,50	17,28
limo%	41,96	43,28	50,07	53,32	50,12	39,10	48,72	44,34
sabbia%	48,66	50,03	43,34	39,86	35,74	51,52	43,78	38,38
CSC meq/100 g	22,70	17,70	17,50	17,10	21,70	19,80	18,50	20,10
N %	0,26	0,15	0,20	0,19	0,18	0,14	0,18	0,16
C %	3,16	2,41	4,90	4,69	3,49	2,22	4,61	2,42
Calcare %	<0,20	<0,20	15,60	16,55	3,41	0,58	17,62	1,38
C inorganico %	<0,02	<0,02	1,87	1,99	0,41	0,07	2,12	0,17
C organico %	3,16	2,41	3,03	2,70	3,08	2,15	2,49	2,26
C/N	12,38	16,41	15,24	14,44	17,30	15,26	13,88	14,00
SO %	5,44	4,16	5,22	4,66	5,31	3,70	4,29	3,89
Na %	0,57	0,58	0,47	0,48	0,48	0,49	0,46	0,55
Mg %	2,04	2,11	2,79	2,78	2,45	2,01	2,91	1,87
Al %	8,31	1,69	7,02	7,43	7,94	7,83	7,26	9,08
Si %	25,20	25,40	21,60	22,60	24,50	24,70	22,50	26,00
P %	0,14	0,15	0,12	0,15	0,17	0,14	0,13	0,16
K %	2,95	2,78	2,71	2,79	2,85	2,96	2,72	2,83
Ca %	2,67	3,06	7,51	7,27	4,33	2,84	7,16	2,11
Ti %	0,50	0,44	0,31	0,35	0,43	0,50	0,35	0,48
Fe %	3,97	3,49	3,60	3,65	3,58	3,81	3,47	4,01
Be mg kg⁻¹	0,76	0,63	0,68	0,65	0,82	0,76	0,72	0,88
V mg kg⁻¹	30	34	30	29	35	31	30	34
Co mg kg⁻¹	12,0	11,0	13,3	11,2	13,0	11,6	10,6	17,8
As mg kg⁻¹	21	30	141	123	53	24	21	156
Se mg kg⁻¹	0,81	0,76	0,97	0,93	0,99	0,80	0,82	1,24
Mo mg kg⁻¹	1,12	0,98	1,96	2,12	1,49	0,79	1,74	1,27
Cd mg kg⁻¹	0,64	0,49	0,79	0,74	0,73	0,42	0,62	0,98
Sb mg kg⁻¹	1,34	1,64	2,1	2,4	1,98	1,19	1,76	3,3
Tl mg kg⁻¹	0,51	0,43	0,76	0,82	0,76	0,46	0,64	2,12
Pb mg kg⁻¹	107	89	183	201	168	92	139	650
Cr mg kg⁻¹	59	25	40	34	30	26	26	35
Cu mg kg⁻¹	179	69	222	136	134	71	75	213
Mn mg kg⁻¹	973	792	1842	1723	1060	886	1598	1378
Ni mg kg⁻¹	28	30	51	47	52	27	25	67
Zn mg kg⁻¹	208	147	361	291	240	135	199	625
Hg mg kg⁻¹	0,71	1,64	12,6	4,8	6,7	1,47	0,39	18,6
Sn mg kg⁻¹	2,7	2,1	4,6	5,1	6,7	2,5	3,7	9,8

Tabella 18: Risultati relativi ai campioni prelevati nelle adiacenze di una fonderia dismessa a Darfo Boario Terme (BS)

sigla	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
pH	5,87	7,26	7,16	6,29	5,92	7,57	7,74	6,20
argilla %	2,19	2,00	1,92	1,98	0,47	2,06	1,92	1,80
limo%	30,79	42,63	36,21	30,00	24,54	44,55	33,17	29,52
sabbia%	67,02	55,38	61,87	68,02	75,00	53,38	64,91	68,68
CSC meq/100 g	10,73	17,38	11,71	11,96	16,22	10,24	9,77	19,00
N %	0,15	0,26	0,19	0,23	0,32	0,14	0,17	0,33
C %	1,60	2,74	1,70	2,19	2,80	2,32	2,45	3,28
Calcare %	<0,20	1,42	<0,20	<0,20	<0,20	5,87	6,46	<0,20
C inorganico %	<0,02	0,17	<0,02	<0,02	<0,02	0,71	0,78	<0,02
C organico %	1,60	2,57	1,70	2,19	2,80	1,61	1,67	3,28
C/N	10,37	9,70	9,10	9,56	8,67	11,60	10,10	9,81
SO %	2,77	4,43	2,93	3,78	4,82	2,78	2,88	5,66
Na %	0,57	0,62	0,60	0,58	0,55	0,73	0,71	0,47
Mg %	1,01	1,32	1,09	0,96	1,02	1,57	1,39	0,81
Al %	7,72	6,64	7,81	7,32	8,15	7,32	6,93	6,45
Si %	23,60	22,90	23,60	23,40	22,20	23,60	23,30	22,50
P %	0,13	0,15	0,15	0,14	0,16	0,17	0,12	0,17
K %	2,59	2,48	3,49	2,97	2,75	2,30	2,42	2,95
Ca %	0,43	2,09	0,63	0,43	3,86	4,04	3,86	0,66
Ti %	0,30	0,38	0,38	0,35	0,38	0,33	0,38	0,28
Fe %	3,68	3,71	3,85	3,56	4,24	3,58	4,43	3,21
Be mg kg⁻¹	0,76	0,77	0,80	0,80	0,81	0,62	0,56	0,78
V mg kg⁻¹	15	29	22	22	16	30	26	15
Co mg kg⁻¹	10,4	11,6	13,3	10,3	11,3	12,0	11,1	7,7
As mg kg⁻¹	52	43	116	84	34	25	31	86
Se mg kg⁻¹	0,48	0,44	0,56	0,50	0,59	0,51	0,47	0,40
Mo mg kg⁻¹	1,09	1,47	1,00	1,08	1,26	1,07	1,04	0,99
Cd mg kg⁻¹	0,32	0,44	0,33	0,37	0,29	0,27	0,30	0,34
Sb mg kg⁻¹	1,05	1,16	1,53	1,21	0,81	1,16	0,94	1,25
Tl mg kg⁻¹	0,35	0,33	0,39	0,33	0,33	0,21	0,30	0,43
Pb mg kg⁻¹	63	45	72	64	65	25	26	82
Cr mg kg⁻¹	16,3	22	19,4	23	18,0	19,6	19,1	13,5
Cu mg kg⁻¹	48	39	38	50	31	30	38	96
Mn mg kg⁻¹	1045	1090	1135	1008	649	796	810	822
Ni mg kg⁻¹	20,0	23	25	22	21	21	20	12,8
Zn mg kg⁻¹	122	157	128	132	129	103	107	116
Hg mg kg⁻¹	0,08	0,10	0,09	0,08	0,09	0,06	0,07	0,09
Sn mg kg⁻¹	0,92	1,92	1,26	3,38	0,93	0,92	1,31	1,92

Tabella 19: Risultati relativi ai campioni prelevati nell'area di diffusione di cromo esavalente nelle acque sotterranee

sigla	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10	CR11	CR12	CR13	CR14
pH	7,06	7,48	6,99	6,19	7,35	6,29	7,03	7,07	6,79	7,12	7,66	6,55	7,16	6,61
argilla %	6,85	9,44	8,10	13,83	5,58	8,58	14,01	12,44	15,78	21,75	21,60	7,38	12,96	23,47
limo %	65,77	43,36	41,88	70,74	43,72	57,19	58,28	45,29	43,32	57,92	46,98	47,70	49,26	51,27
sabbia %	27,38	47,20	50,02	15,43	50,70	34,23	27,71	42,27	40,90	20,33	31,42	44,92	37,78	25,25
CSC meq/100 g	15,40	19,70	20,30	15,10	24,60	23,80	20,50	11,00	16,20	21,70	18,70	19,30	17,70	17,60
N %	0,12	0,20	0,17	0,14	0,32	0,32	0,20	0,30	0,19	0,22	0,20	0,23	0,17	0,14
C %	1,16	2,20	1,55	1,16	2,65	2,61	1,64	2,45	1,65	1,81	1,94	1,70	1,41	1,14
Calcare %	<0,20	0,97	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
C inorg %	<0,02	0,12	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
C org %	1,16	2,08	1,55	1,16	2,65	2,61	1,64	2,45	1,65	1,81	1,94	1,70	1,41	1,14
C/N	9,70	10,17	9,29	8,49	8,31	8,23	8,40	8,06	8,54	8,06	9,63	7,45	8,22	8,32
SO %	2,00	3,59	2,67	1,99	4,57	4,51	2,83	4,23	2,84	3,12	3,35	2,93	2,43	1,96
Na %	0,60	0,52	0,41	0,46	0,48	0,47	0,36	0,51	0,48	0,38	0,48	0,52	0,39	0,37
Mg %	0,95	1,19	0,75	0,68	1,09	0,77	0,70	1,09	1,17	0,78	1,45	1,23	0,81	0,70
Al %	7,81	8,15	6,89	6,68	7,34	7,32	6,56	8,04	8,08	7,11	8,23	8,33	7,27	6,89
Si %	30,70	26,20	29,70	30,90	27,10	30,60	30,40	28,10	27,60	31,80	27,20	28,30	32,10	31,10
P %	0,09	0,10	0,08	0,09	0,13	0,08	0,16	0,14	0,11	0,14	0,13	0,10	0,12	0,08
K %	2,07	2,58	1,72	1,77	2,38	1,89	1,77	2,55	2,63	1,92	2,42	2,54	1,85	1,74
Ca %	0,56	1,67	0,64	0,42	0,73	0,74	0,51	0,53	0,49	0,56	1,31	0,49	0,39	0,39
Ti %	0,62	0,57	0,56	0,62	0,49	0,65	0,56	0,42	0,50	0,61	0,48	0,54	0,57	0,54
Fe %	3,07	3,91	3,26	3,04	3,79	3,31	3,41	3,88	3,81	3,54	4,21	3,87	3,48	3,34
Be mg kg⁻¹	0,74	0,96	0,86	0,80	1,00	0,82	0,87	1,10	1,03	0,99	1,08	0,91	0,92	0,96
V mg kg⁻¹	31	39	34	36	39	38	36	41	43	38	38	33	35	36
Co mg kg⁻¹	9,9	12,5	16,0	13,7	9,0	9,1	15,7	10,2	10,2	19,3	11,2	10,1	13,8	15,5
As mg kg⁻¹	15,1	23	13,2	13,3	23	15,4	13,9	27	24	13,3	21	25	15,3	13,9
Se mg kg⁻¹	0,69	0,81	0,94	0,79	0,84	1,05	0,93	0,91	0,81	1,02	0,90	0,72	0,93	0,93
Mo mg kg⁻¹	0,36	2,26	0,31	0,47	0,63	0,53	0,59	0,73	0,43	0,46	0,33	0,26	0,23	0,33
Cd mg kg⁻¹	0,40	2,22	0,40	0,48	0,64	0,60	0,60	0,71	0,46	0,57	0,41	0,30	0,32	0,45
Sb mg kg⁻¹	1,51	4,1	1,22	1,22	2,7	1,50	1,45	3,2	2,6	1,23	1,95	2,48	1,55	1,38
Tl mg kg⁻¹	0,48	0,68	0,33	0,48	0,49	0,53	0,39	0,54	0,45	0,28	0,41	0,34	0,34	0,33
Pb mg kg⁻¹	50	136	44	44	64	64	47	74	54	40	45	40	47	50
Cr mg kg⁻¹	34	45	32	35	25	39	59	61	28	87	30	26	32	38
Cu mg kg⁻¹	24	519	36	27	28	25	81	44	27	48	34	28	39	45
Mn mg kg⁻¹	879	940	1591	1326	1088	440	1632	1200	1115	1953	1133	920	1450	1794
Ni mg kg⁻¹	20	107	29	24	22	22	40	24	23	37	28	22	28	35
Zn mg kg⁻¹	120	739	101	123	163	144	182	217	124	116	124	102	96	100
Hg mg kg⁻¹	0,12	0,60	0,14	0,13	0,19	0,15	0,14	0,21	0,22	0,11	0,14	0,11	0,11	0,14
Sn mg kg⁻¹	1,48	7,0	1,35	1,04	1,71	1,83	3,52	2,34	1,59	1,66	1,38	1,28	2,8	1,72

Tabella 20: Risultati relativi ai campioni prelevati nei pressi dell'inceneritore di Parona (PV)

sigla	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
pH	4,60	5,68	7,25	5,43	6,27	5,06	5,51	5,56	6,05	6,49	5,39	5,21
argilla %	0,67	1,43	0,50	1,09	1,20	0,36	0,13	0,53	2,11	1,66	3,06	2,46
limo%	15,29	16,55	11,17	22,85	17,16	11,82	8,38	13,43	34,91	17,36	15,24	14,58
sabbia%	84,04	82,02	89,89	76,06	81,64	87,82	91,49	86,03	62,99	80,98	81,70	82,96
CSC meq/100 g	9,80	6,55	8,40	7,77	10,20	7,11	7,41	7,56	7,26	7,40	6,80	7,64
N %	0,17	0,07	0,08	0,12	0,13	0,07	0,10	0,13	0,10	0,07	0,09	0,08
C %	1,79	0,85	0,80	1,21	1,22	0,66	1,00	1,31	0,98	0,63	0,79	0,75
Calcare %	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
C inorganico %	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
C organico %	1,79	0,85	0,80	1,21	1,22	0,66	1,00	1,31	0,98	0,63	0,79	0,75
C/N	10,24	11,81	9,49	10,13	9,15	10,03	9,59	9,80	9,88	9,19	9,07	9,64
SO %	3,09	1,46	1,38	2,09	2,10	1,13	1,72	2,26	1,69	1,08	1,36	1,29
Na %	1,04	1,03	1,15	1,03	1,18	1,05	1,09	1,01	1,04	1,18	1,14	0,98
Mg %	0,77	0,74	0,67	0,72	0,76	0,68	0,58	0,69	1,19	0,84	0,99	0,89
Al %	6,88	5,19	2,25	5,99	6,69	5,69	5,11	5,18	6,81	7,01	6,42	6,01
Si %	25,90	25,50	25,90	25,40	26,10	25,50	26,10	25,20	25,60	26,10	26,30	24,80
P %	0,11	0,17	0,26	0,14	0,22	0,12	0,23	0,16	0,10	0,15	0,12	0,16
K %	1,77	1,40	1,80	1,33	1,74	1,26	1,12	1,13	1,63	1,84	1,77	1,34
Ca %	0,75	0,87	1,15	0,87	1,05	0,71	0,70	0,68	0,91	0,93	0,88	0,77
Ti %	0,34	0,26	0,30	0,26	0,33	0,22	0,21	0,21	0,37	0,32	0,31	0,24
Fe %	2,26	1,79	1,92	1,57	2,36	1,74	1,61	1,71	2,56	2,32	2,16	1,92
Be mg kg⁻¹	0,53	0,39	0,37	0,44	0,50	0,37	0,31	0,39	0,49	0,50	0,45	0,40
V mg kg⁻¹	23	18	19	20	22	16	19	18	22	22	20	14
Co mg kg⁻¹	5,0	4,5	3,8	4,0	5,0	3,9	3,4	4,8	6,9	5,4	6,5	4,7
As mg kg⁻¹	5,4	6,7	3,9	6,0	3,8	7,6	7,5	9,2	8,4	5,1	6,3	9,0
Se mg kg⁻¹	0,53	0,21	0,40	0,22	0,50	0,22	0,19	0,31	0,31	0,47	0,53	0,24
Mo mg kg⁻¹	0,66	0,56	0,29	0,45	0,44	0,38	0,23	0,42	0,36	0,51	0,58	0,33
Cd mg kg⁻¹	0,20	0,13	0,14	0,17	0,19	0,12	0,12	0,38	0,31	0,16	0,53	0,16
Sb mg kg⁻¹	0,31	0,19	0,13	0,24	0,33	0,19	0,18	0,29	0,41	0,17	0,34	0,26
Tl mg kg⁻¹	0,22	0,09	0,12	0,13	0,17	0,08	0,07	0,25	0,29	0,17	0,19	0,16
Pb mg kg⁻¹	24	10,0	11,5	15,3	17,3	9,7	9,5	15,3	29,9	14,7	29,6	15,6
Cr mg kg⁻¹	44	39	25	38	35	20	18,0	83	64	30	76	26
Cu mg kg⁻¹	19,4	10,2	16,5	12,4	26	9,1	7,7	18,4	26,9	14,5	38,8	12,8
Mn mg kg⁻¹	168	96	102	91	136	89	141	117	125	228	155	209
Ni mg kg⁻¹	18,7	14,5	16,6	15,4	20	14,9	11,9	23	35	22	38	22
Zn mg kg⁻¹	56	39	61	43	73	32	36	64	84	57	110	45
Hg mg kg⁻¹	0,05	0,05	0,04	0,04	0,10	0,02	0,03	0,16	0,36	0,09	0,67	0,08
Sn mg kg⁻¹	0,91	0,62	2,8	0,89	1,52	0,49	0,37	0,86	2,09	0,76	2,1	0,94

BIBLIOGRAFIA

- [1] Società Italiana della Scienza del Suolo: Metodi normalizzati di analisi del suolo. Edagricole, Bologna, 1985.
- [2] Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n°152, Norme in materia ambientale.

Capitolo VII: Analisi di PCDDs, PCDFs, PCBs, PBDEs e OCPs in campioni di suolo della Lombardia proveniente da aree sottoposte a maggior pressione antropica

Il Progetto di monitoraggio ambientale interessa tutto il territorio della Regione Lombardia e prevede un approccio multidisciplinare chimico, fisico e biologico allo scopo di ottenere dati utili per definire una politica integrata del territorio, per garantire e sostenere la qualità del suolo e permettere la messa in atto di strategie di prevenzione e protezione dall'inquinamento.

In questa seconda parte dell'indagine sono stati considerati suoli superficiali presenti sul territorio della Regione Lombardia che sono esposti ad alcune attività antropiche.

Sette aree esposte a differenti fonti di emissione sono state studiate per il loro contenuto nei suoli di contaminanti organici come diossine, furani, PCBs, PBDEs e pesticidi organoclorurati. Il confronto dei dati con i valori indicati nell'attuale legislazione italiana evidenzia il superamento dei limiti per il verde pubblico, ed in alcuni casi per aree industriali, nell'area di Brescia, zona già nota per contaminazione da PCB. Le altre zone investigate non evidenziano valori critici.

1. Introduzione

1.1 Descrizione del progetto

In questa parte dell'indagine sono stati considerati suoli superficiali in sette aree della Regione Lombardia soggette a differenti attività antropiche.

1.2 Aree investigate

Sette aree esposte a differenti fonti di emissione sono state studiate per il loro contenuto nei suoli di contaminanti organici come diossine, furani, PCBs, PBDEs e pesticidi organoclorurati.

Di seguito vengono riportate le aree studiate e le attività presenti sul territorio:

- termovalorizzatore di Parona (PV)
- impianto di rigenerazione oli esausti (Pieve Fissiraga, LO)
- tratto autostradale Milano-Como (Origgio, VA)
- cementificio (Broni, PV)

- area SIN Brescia Agricola (BS)
- fonderia (Darfo Boario Terme, BS)
- plume di Cromo esavalente (Treviglio, BG).

Visto il limitato numero di analisi disponibili in due siti, che ritenevamo meno propensi all'emissione dei composti in esame (siti cementificio Broni e tratto autostradale Milano-Como), si è applicato il concetto di campioni compositi utilizzato con successo nella fase 1. In caso di risultati rilevanti saranno analizzati i singoli campioni. In tutti gli altri siti si sono analizzati tutti i punti campionati.

La fase di campionamento è stata effettuata dall'Università Cattolica di Piacenza. I punti sono stati individuati e raggiunti tramite coordinate GPS. Nella Tabella 1 vengono riportate località, sigle e coordinate dei singoli campionamenti effettuati.

Le mappe con le locazioni dei campionamenti possono essere consultate nel Capitolo V: "Caratterizzazione chimico-fisica dei campioni di suolo", al Paragrafo 1 "Le aree sottoposte ad indagine".

Tabella 1: Località, sigle e coordinate dei campionamenti effettuati nella Fase 2 del progetto.							
		coordinate				coordinate	
Località	sigla	x	y	Località	sigla	x	y
Impianto di rigenerazione oli esausti (Pieve Fissiraga, LO)	V1	45.28129	9.45187	Fonderia (Darfo Boario Terme, BS)	F1	45.86332	10.16871
	V2	45.27246	9.46470		F2	45.86333	10.16068
	V3	45.26336	9.45197		F3	45.86797	10.16127
	V4	45.27235	9.43916		F4	45.86871	10.17038
	V5	45.27655	9.45189		F5	45.85897	10.17248
	V6	45.27236	9.45823		F6	45.85999	10.15416
	V7	45.26804	9.45265		F7	45.87244	10.16151
	V8	45.27170	9.44461		F8	45.87293	10.17846
Tratto autostradale Milano-Como (Origgio, VA)	O1	45.58533	9.01279	Plume di Cromo esavalente (Treviglio, BG)	CR1	45.61183	9.61333
	O2	45.58545	9.01373		CR2	45.59611	9.61334
	O3	45.58581	9.01058		CR3	45.58884	9.61336
	O4	45.58580	9.00940		CR4	45.58852	9.62622
	O5	45.59034	9.01370		CR5	45.58963	9.58668
	O6	45.59038	9.01261		CR6	45.57703	9.62809
	O7	45.58903	9.00967		CR7	45.56515	9.60929
	O8	45.58908	9.01065		CR8	45.57821	9.59181
Cementificio (Broni, PV)	IT1	45.06806	9.25570		CR9	45.59655	9.59093
	IT2	45.07290	9.25561		CR10	45.55179	9.63181
	IT3	45.07853	9.25550		CR11	45.55365	9.59888
	IT4	45.06526	9.25015		CR12	45.54343	9.58749
	IT5	45.06727	9.24452		CR13	45.54030	9.61267
	IT6	45.06885	9.23725		CR14	45.56910	9.61441
	IT7	45.06035	9.24922	P1	45.29090	8.78692	
	IT8	45.05912	9.24597	P2	45.28703	8.79218	
	IT9	45.05674	9.24140	P3	45.28272	8.78474	
Area SIN Brescia Agricola (BS)	S1	45.53535	10.18825	Termovalorizzatore di Parona (PV)	P4	45.28758	8.77825
	S2	45.53633	10.18300		P5	45.29625	8.78614
	S3	45.53734	10.17815		P6	45.27611	8.78690
	S4	45.54057	10.17947		P7	45.28725	8.79859
	S5	45.53984	10.18301		P8	45.28712	8.77284
	S6	45.53875	10.18670		P9	45.30506	8.78467
	S7	45.54359	10.18275		P10	45.28660	8.81201
	S8	45.54199	10.18789		P11	45.26955	8.78659
					P12	45.28744	8.76059

2. Materiali e metodi

Si rimanda alla descrizione del Paragrafo 2: "Materiali e metodi" del Capitolo IV: "Analisi di PCDDs, PCDFs, PCBs, PBDEs e OCPs in suoli superficiali della Lombardia – Fase I

3. Risultati

3.1 Tutte le aree ecetto SIN Brescia

I pool in generale non hanno mostrato concentrazioni rilevanti per tutti i composti analizzati quindi non si è proceduto ad analizzare i singoli punti di campionamento. Solo la famiglia del DDTs mostrava una somma delle sue concentrazioni vicino alla soglia per Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale (10 ng/g) nel sito tratto autostradale Milano-Como (Origgio, VA). Nei due pool campionati a 50 m e 150 m di distanza si riscontravano valori molto simili 8,46 ng/g e 8,75 ng/g rispettivamente, mostrando una certa omogeneità di concentrazione nel sito. Considerando

inoltre che l'autostrada non è fonte di emissione di questi composti si è deciso di non approfondire analizzando tutti i punti campionati.

Di seguito, le prime sei aree verranno commentate tutte insieme per classe di composto, mentre l'area 7 verrà commentata a parte in quanto come sospettato presenta livelli di PCDDs, PCDFs e PCBs rilevanti.

Negli annex da 1 a 7 vengono riportate le concentrazioni di PCDDs, PCDFs, PCBs, PBDEs e OCPs riscontrate nei campioni di suolo prelevati nei differenti siti studiati.

3.1.1 PCDD/Fs

I dati evidenziano che solo nel sito CR2 (Treviglio, BG) le concentrazioni di diossine raggiungono i 27,76 pg I-TEQ/g superando il limite stabilito dalla legislazione. Tutti gli altri campioni di suolo analizzati hanno riportato concentrazioni ben al di sotto della normativa italiana di 10 pg/g I-TEQ per l'utilizzo del Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale.

3.1.2 PCBs

3.1.2.1 PCBs TOTALI

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per i PCBs totali nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 60 ng/g.

Nel decreto D.L. 152 del 2006 (vedi paragrafo 3.1.2.1 "PCB totali" del Capitolo IV), per i suoli si fa riferimento alla concentrazione di PCBs totali, ma non ne viene specificata la definizione. Per la comparazione dei risultati con i limiti legislativi prenderemo la somma di tutti i congeneri presenti nelle diverse classi clorurate misurate (Σ Chlorinated Class PCBs).

Le concentrazioni di PCBs totali riscontrate in tutti i siti risultano essere al di sotto del limite soglia di 60 ng/g. I siti a più alte concentrazioni risultano essere CR1 e CR2 con rispettivamente 33,85 ng/g e 29,87 ng/g, circa la metà del limite soglia.

3.1.2.2 DIOXIN-LIKE PCBs

Riguardo i suoli il decreto legislativo non dà valori limite per i DL-PCBs espressi come TCDD-Equivalenti nel suolo, quindi ai fini di questa discussione faremo riferimento al limite utilizzato per le Diossine (10 pg/g I-TEQ). Inoltre verranno utilizzati i 2005 WHO-TEQ come indicato nello stesso decreto per i PCBs nei sedimenti.

Anche per i Dioxin-Like PCBs le concentrazioni riscontrate in tutti i siti risultano essere al di sotto del limite soglia di 10 pg/g TEQ. I siti a più alte concentrazioni risultano essere ancora CR1 e CR2 con rispettivamente 3,96 2005WHO-TEQ pg/g e 3,48 2005WHO-TEQ pg/g, contribuendo per circa un terzo del limite soglia.

3.1.3 Pesticidi Clorurati

Tutti i pesticidi misurati risultano essere almeno un ordine di grandezza sotto il loro limite riportato nel decreto D.L. 152 del 2006 per uso del Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale, ad eccezione della famiglia dei DDTs.

Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per la somma dei diversi isomeri del DDT (DDEs, DDDs e DDTs) nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 10 ng/g.

Anche in questo caso tutti i siti sono al di sotto del limite, ma va evidenziato che in entrambi i pool di suolo effettuati in prossimità dell'autostrada Milano-Como (Origgio) le concentrazioni sfiorano il limite di 10 ng/g della legislazione con circa 8,5 ng/g.

Inoltre a Treviglio in tre punti (CR2, CR8 e CR10) le concentrazioni oscillano tra un terzo a metà di tale limite.

3.1.4 PBDEs

In tutti i siti studiati le concentrazioni di tutti i congeneri dei PBDEs ad eccezione del deca-bromo (BDE-209) risultano essere molto basse.

Nel D.L. numero 152 del 2006 non sono indicati i valori limiti per questa tipologia di composti e visto che nel caso dei pesticidi invita ad utilizzare, nel caso non fosse esplicitamente indicato, quelli attribuiti alla categoria di appartenenza del composto stesso. Quindi per i PBDEs ai fini della discussione prenderemo in considerazione i limiti indicati per i PCBs totali, che sono la categoria di sostanze sia per struttura chimica e sia per tipologia di utilizzo che ne è stata fatta in passato, quelli che si avvicinano di più all'interno del Decreto. Il valore soglia previsto dalla legislazione italiana per i PCBs totali nel Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale è di 60 ng/g.

Comparando tutti i siti si evidenzia che le concentrazioni del BDE-209 risultano essere particolarmente alte in tutti i punti prelevati a Treviglio (BG) con i massimi a CR8 e CR10 con 71 ng/g e 112 ng/g rispettivamente e in alcuni punti in prossimità del Termovalorizzatore a Parona (PV) con un massimo nel punto P5 con 91 ng/g.

Tuttavia per questi composti tuttavia non c'è ancora una normativa.

3.2 L'area SIN Brescia Agricola (BS)

Nella Tabella 2 viene riportato il sommario dei risultati delle concentrazioni di PCBs e Diossine riscontrate negli 8 punti di campionamento nell'area Brescia Agricola utili alla discussione e i valori soglia indicati nel D.L. numero 152 del 2006. In questa tabella, i valori che superano il limite per verde pubblico sono evidenziati in verde, mentre i valori che superano il limite per aree industriali sono evidenziati in rosso.

Per facilitare la visualizzazione i valori in verde indicano le concentrazioni che sono superiori ai valori soglia per Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. I valori in rosso indicano le concentrazioni che sono superiori ai valori soglia per Suolo Commerciale ed Industriale.

Nel decreto D.L. 152 del 2006 per i suoli si fa riferimento alla concentrazione di PCBs totali ma non ne viene specificata la definizione, ed inoltre non è dato un valore di riferimento per i DL-PCBs. Questo argomento viene affrontato nel paragrafo 3.1.2.1 "PCB Totali" del Capitolo IV "Analisi di PCDDs, PCDFs, PCBs, PBDEs e OCPs in suoli superficiali della Lombardia Fase I".

Tabella 2: Sommario delle concentrazioni di PCBs e Diossine riscontrate nell'area SIN Brescia Agricola comparate con i limiti del D.L. 152 – 2006

Punti di campionamento	EC6-PCBs (ng/g) ¹	Somma congeneri PCBs (ng/g) ²	Somma classi clorurate PCBs (ng/g) ³	Diossine (pg/g I-TEQ)	DL-PCB (pg/gWHO ₀₅ TEQ)
S1	128	146	285	20,3	19,4
S2	191	230	527	37,0	17,4
S3	1954	2265	5179	405	71,1
S4	386	455	1013	132	19,9
S5	382	457	1007	229	20,6
S6	94,7	111	234	14,3	8,70
S7	20,6	23,0	44	8,90	3,20
S8	1099	1370	2647	544	57,7
Limite D.L. 152 2006 Verde	60			10	
Limite D.L. 152 2006 Industriale	5000			100	

¹ **EC-6PCB:** marker PCB: PCB 28, PCB 52, PCB 101, 138, PCB 153, PCB 180.

² **PCB Congeneri:** lo standard è riferito alla sommatoria dei seguenti congeneri: PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB 118, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 169, PCB 180 in sedimenti indicato nel D.L. 152 del 2006.

³ **PCBs Classi:** Sommatoria delle concentrazioni totali di congeneri presenti nelle diverse classi di clorurazione (da tri-cloro ad epta-cloro)

Analizzando le concentrazioni dei PCBs espressi nelle tre differenti forme, EC6, Somma congeneri e somma classi clorurate si evidenzia come in sette punti questi composti superino la soglia di 60 ng/g indicata nel DL 152 del 2006 per Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. Nel sito S3 le concentrazioni espresse come “somma classi clorurate” sono superiori anche alla soglia di 5000 ng/g indicata per Suolo Commerciale ed Industriale. Solo il sito S7 mostra concentrazioni al di sotto di tutte le soglie indicate per i PCBs.

Nella Figura 1 sono raffigurate le concentrazioni dei PCBs totali nei singoli punti di campionamento.

Anche l'espressione dei risultati dei DL-PCBs confermano che 6 siti su 8 superano la soglia dei 10 pg TEQ/g indicati per le diossine per Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. Solo i siti S6 e S7

mostrano concentrazioni al di sotto di tale soglia. Nella Figura 2 sono raffigurate le concentrazioni dei DL-PCBs e delle Diossine espresse come TEQ nei singoli punti di campionamento.

I risultati delle Diossine evidenziano che in 4 siti (S3, S4, S5 e S8) le concentrazioni superano il limite soglia di 100 pg I-TEQ /g indicato per Suolo Commerciale ed Industriale anche di 5 volte come nel sito S8. In altri 3 siti (S1, S2 e S6) viene superata la soglia dei 10 pg I-TEQ/g indicata per le diossine per Suolo ad uso Verde pubblico, privato e residenziale. Solo il sito S7 con una concentrazione di 8,90 pg I-TEQ/g non supera alcuna soglia, ma se come indicato nel DL 152 del 2006 per i sedimenti, sommiamo il contributo in TEQ derivante dai DL-PCBs di 3.20 pg TEQ/g avremo una concentrazione totale di 12,1 pg TEQ/g superando la soglia dei 10 pg I-TEQ/g anche in questo sito.

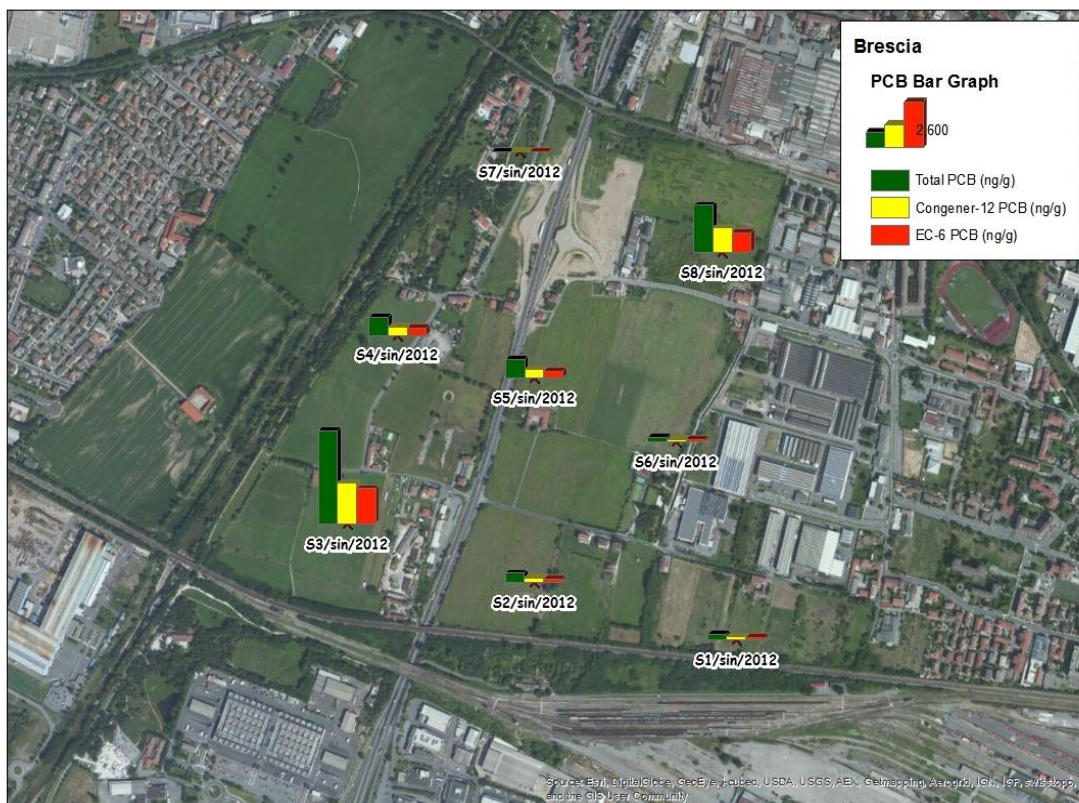


Figura 1. Concentrazioni dei PCBs totali nell' Area SIN Brescia Agricola (BS).

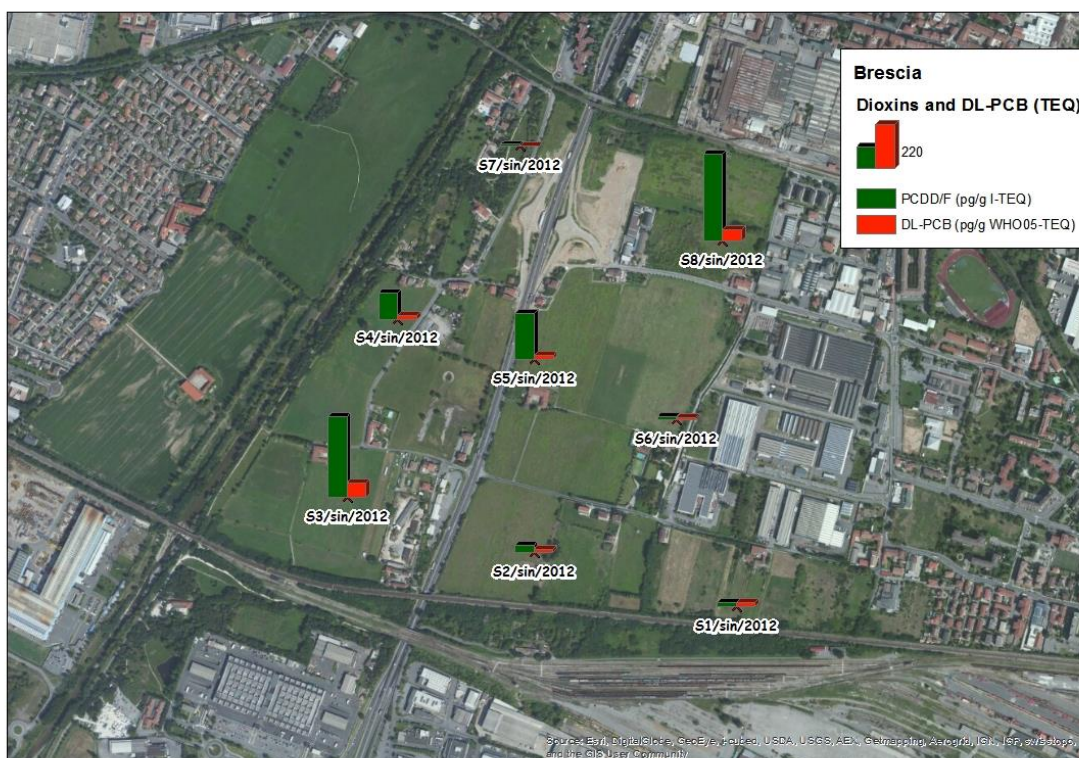


Figura 2. Concentrazioni dei DL-PCBs e delle Diossine espresse come TEQ nell' Area SIN Brescia Agricola (BS).

4. Conclusioni

Sette aree esposte a differenti fonti di emissione sono state studiate per il loro contenuto nei suoli di contaminanti organici come diossine, furani, PCBs, PBDEs e pesticidi organoclorurati. Il confronto dei dati

con i valori indicati nell'attuale legislazione italiana evidenzia il superamento dei limiti per il verde pubblico, ed in alcuni casi per aree industriali, nell'area di Brescia, zona già nota per contaminazione da PCB. Le altre zone investigate non evidenziano valori critici.

APPENDICE A: Risultati Termovalorizzatore di Parona (PV)

Pool Lab. Code:	DP-13-040-030414-1	DP-14-026-080414-5	DP-13-042-030414-2
Sampling code:	P1	P2	P3
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	24-Jun-14	7-Jul-14	24-Jun-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,11	0,03	0,02
12378-PeCDD	0,28	0,09	0,10
123478-HxCDD	0,16	0,11	0,10
123678-HxCDD	0,46	0,24	0,26
123789-HxCDD	0,34	0,19	0,20
1234678-HpCDD	7,20	3,17	3,85
OCDD	52,97	16,32	24,08
2378-TCDF	1,23	0,58	0,42
12378-PeCDF	0,62	0,40	0,33
23478-PeCDF	0,63	0,46	0,36
123478-HxCDF	1,04	0,66	0,57
123678-HxCDF	0,82	0,44	0,40
234678-HxCDF	0,94	0,63	0,58
123789-HxCDF	0,27	0,16	0,13
1234678-HpCDF	5,58	4,10	4,60
1234789-HpCDF	0,68	0,36	0,34
OCDF	9,17	8,69	12,21
Upper-bound			
I-TEQ	1,32	0,72	0,65
1998 WHO-TEQ	1,40	0,75	0,67
2005 WHO-TEQ	1,28	0,65	0,59
Middle-bound			
I-TEQ	1,32	0,72	0,65
1998 WHO-TEQ	1,40	0,75	0,67
2005 WHO-TEQ	1,28	0,65	0,59
Lower-bound			
I-TEQ	1,32	0,72	0,65
1998 WHO-TEQ	1,40	0,75	0,67
2005 WHO-TEQ	1,28	0,65	0,59
Total PCDD/Fs			
TCDD	4,93	2,15	1,50
PeCDD	5,08	2,42	2,42
HxCDD	5,88	3,18	3,18
HpCDD	13,72	5,95	7,16
OCDD	52,97	16,32	24,08
TCDF	14,06	7,01	5,37
PeCDF	11,89	7,03	6,76
HxCDF	9,05	5,75	5,16
HpCDF	8,56	6,17	6,78
OCDF	9,17	8,69	12,21
Total PCDDs	82,59	30,03	38,34
Total PCDFs	52,73	34,65	36,27
Total PCDD/Fs	135,32	64,67	74,62

Pool Lab. Code:	DP-14-027-080414-6	DP-13-043-030414-3	DP-14-028-080414-7
Sampling code:	P4	P5	P6
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	7-Jul-14	24-Jun-14	7-Jul-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,12	0,06	0,03
12378-PeCDD	0,17	0,15	0,09
123478-HxCDD	0,20	0,17	0,09
123678-HxCDD	0,40	0,41	0,22
123789-HxCDD	0,34	0,31	0,18
1234678-HpCDD	4,12	5,63	2,31
OCDD	16,50	32,45	11,38
2378-TCDF	1,57	1,00	0,49
12378-PeCDF	0,88	0,60	0,35
23478-PeCDF	0,94	0,68	0,43
123478-HxCDF	1,24	1,04	0,60
123678-HxCDF	0,89	0,75	0,43
234678-HxCDF	1,13	0,94	0,59
123789-HxCDF	0,31	0,23	0,14
1234678-HpCDF	6,41	6,04	3,55
1234789-HpCDF	0,71	0,60	0,35
OCDF	11,46	13,77	7,91
Upper-bound			
I-TEQ	1,46	1,17	0,66
1998 WHO-TEQ	1,53	1,20	0,69
2005 WHO-TEQ	1,33	1,06	0,60
Middle-bound			
I-TEQ	1,46	1,17	0,66
1998 WHO-TEQ	1,53	1,20	0,69
2005 WHO-TEQ	1,33	1,06	0,60
Lower-bound			
I-TEQ	1,46	1,17	0,66
1998 WHO-TEQ	1,53	1,20	0,69
2005 WHO-TEQ	1,33	1,06	0,60
Total PCDD/Fs			
TCDD	4,45	3,56	1,80
PeCDD	4,72	3,91	2,10
HxCDD	5,68	5,25	2,91
HpCDD	7,91	10,40	4,40
OCDD	16,50	32,45	11,38
TCDF	17,41	11,95	6,16
PeCDF	13,88	10,36	6,46
HxCDF	10,14	8,52	5,12
HpCDF	9,35	8,64	5,17
OCDF	11,46	13,77	7,91
Total PCDDs	39,26	55,57	22,59
Total PCDFs	62,22	53,24	30,81
Total PCDD/Fs	101,48	108,81	53,40

Pool Lab. Code:	DP-14-029-080414-8	DP-14-030-080414-9	DP-14-031-080414-10
Sampling code:	P7	P8	P9
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	7-Jul-14	7-Jul-14	7-Jul-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,02	0,04	0,15
12378-PeCDD	0,10	0,15	0,30
123478-HxCDD	0,12	0,20	0,29
123678-HxCDD	0,30	0,53	0,81
123789-HxCDD	0,23	0,34	0,59
1234678-HpCDD	3,48	7,23	11,57
OCDD	15,95	36,20	80,15
2378-TCDF	0,47	1,22	1,37
12378-PeCDF	0,38	0,70	0,91
23478-PeCDF	0,48	0,84	1,00
123478-HxCDF	0,68	1,13	1,75
123678-HxCDF	0,46	0,77	1,34
234678-HxCDF	0,63	1,17	2,56
123789-HxCDF	0,16	0,28	0,47
1234678-HpCDF	3,44	7,88	26,31
1234789-HpCDF	0,40	0,68	1,64
OCDF	5,49	22,53	99,42
Upper-bound			
I-TEQ	0,73	1,35	2,34
1998 WHO-TEQ	0,76	1,37	2,33
2005 WHO-TEQ	0,66	1,20	2,14
Middle-bound			
I-TEQ	0,73	1,35	2,34
1998 WHO-TEQ	0,76	1,37	2,33
2005 WHO-TEQ	0,66	1,20	2,14
Lower-bound			
I-TEQ	0,73	1,35	2,34
1998 WHO-TEQ	0,76	1,37	2,33
2005 WHO-TEQ	0,66	1,20	2,14
Total PCDD/Fs			
TCDD	2,42	2,61	3,91
PeCDD	2,65	3,54	5,41
HxCDD	3,66	6,04	8,85
HpCDD	6,48	13,17	21,08
OCDD	15,95	36,20	80,15
TCDF	5,95	11,94	14,07
PeCDF	6,21	11,48	15,74
HxCDF	5,44	9,85	23,73
HpCDF	5,01	13,07	49,64
OCDF	5,49	22,53	99,42
Total PCDDs	31,16	61,57	119,40
Total PCDFs	28,10	68,87	202,61

Total PCDD/Fs	59,26	130,43	322,01
Pool Lab. Code:	DP-13-044-030414-4	DP-13-045-030414-5	DP-14-032-080414-11
Sampling code:	P10	P11	P12
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	24-Jun-14	24-Jun-14	7-Jul-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,01	0,08	0,01
12378-PeCDD	0,09	0,31	0,08
123478-HxCDD	0,11	0,53	0,10
123678-HxCDD	0,26	1,52	0,22
123789-HxCDD	0,22	0,85	0,20
1234678-HpCDD	3,23	23,73	2,70
OCDD	20,40	155,61	12,76
2378-TCDF	0,39	2,50	0,87
12378-PeCDF	0,33	1,37	0,49
23478-PeCDF	0,36	1,67	0,48
123478-HxCDF	0,64	2,40	0,73
123678-HxCDF	0,41	1,77	0,48
234678-HxCDF	0,56	3,24	0,76
123789-HxCDF	0,14	0,54	0,18
1234678-HpCDF	3,63	33,01	6,64
1234789-HpCDF	0,40	1,77	0,49
OCDF	8,87	149,35	18,92
Upper-bound			
I-TEQ	0,63	3,36	0,81
1998 WHO-TEQ	0,65	3,24	0,82
2005 WHO-TEQ	0,58	2,94	0,72
Middle-bound			
I-TEQ	0,63	3,36	0,81
1998 WHO-TEQ	0,65	3,24	0,82
2005 WHO-TEQ	0,58	2,94	0,72
Lower-bound			
I-TEQ	0,63	3,36	0,81
1998 WHO-TEQ	0,65	3,24	0,82
2005 WHO-TEQ	0,58	2,94	0,72
Total PCDD/Fs			
TCDD	1,39	3,73	1,74
PeCDD	3,08	5,26	2,25
HxCDD	3,10	14,21	3,25
HpCDD	6,35	45,30	5,24
OCDD	20,40	155,61	12,76
TCDF	4,22	20,62	8,09
PeCDF	6,87	26,47	7,57
HxCDF	4,70	30,20	7,52
HpCDF	5,57	61,35	11,08
OCDF	8,87	149,35	18,92
Total PCDDs	34,32	224,12	25,24
Total PCDFs	30,22	288,00	53,18
Total PCDD/Fs	64,54	512,12	78,42

Pool Lab. Code:	DP-13-040-030414-1	DP-14-026-080414-5	DP-13-042-030414-2
Sampling code:	P1	P2	P3
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	24-Jun-14	7-Jul-14	24-Jun-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0006	0,0003	0,0003
PCB-77	0,0195	0,0111	0,0385
PCB-126	0,0026	0,0023	0,0023
PCB-169	0,0004	0,0005	0,0031
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,10	0,06	0,03
PCB 114	0,003	0,002	0,002
PCB 118	0,26	0,15	0,09
PCB 123	0,003	0,004	0,003
PCB 156	0,03	0,04	0,03
PCB 157	0,01	0,01	0,01
PCB 167	0,02	0,02	0,02
PCB 189	0,004	0,006	0,004
Indicator PCBs			
PCB 28	0,08	0,03	0,02
PCB 52	0,15	0,07	0,04
PCB 101	0,26	0,19	0,04
PCB 138	0,32	0,37	0,26
PCB 153	0,40	0,57	0,32
PCB 180	0,19	0,43	0,16
Σ Indicator PCBs	1,40	1,68	0,84
Σ Congeners PCBs(*)	1,71	1,88	1,01
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,35	0,16	0,10
TETRA - CB	1,07	0,49	0,30
PENTA - CB	1,59	1,01	0,47
ESA - CB	1,68	2,01	1,09
EPTA - CB	0,46	0,89	0,34
Σ Chlorinated Class PCBs	5,16	4,56	2,30
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,32	0,28	0,30
2005 WHO-TEQ	0,29	0,25	0,33
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,32	0,28	0,30
2005 WHO-TEQ	0,29	0,25	0,33
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,32	0,28	0,30
2005 WHO-TEQ	0,29	0,25	0,33

Pool Lab. Code:	DP-14-027-080414-6	DP-13-043-030414-3	DP-14-028-080414-7
Sampling code:	P4	P5	P6
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	7-Jul-14	24-Jun-14	7-Jul-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0006	0,0005	0,0002
PCB-77	0,0216	0,0202	0,0041
PCB-126	0,0047	0,0038	0,0015
PCB-169	0,0009	0,0007	0,0004
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,11	0,13	0,02
PCB 114	0,002	0,002	0,001
PCB 118	0,28	0,32	0,05
PCB 123	0,007	0,007	0,002
PCB 156	0,05	0,06	0,01
PCB 157	0,01	0,02	0,01
PCB 167	0,03	0,03	0,01
PCB 189	0,006	0,007	0,002
Indicator PCBs			
PCB 28	0,04	0,03	0,02
PCB 52	0,08	0,11	0,03
PCB 101	0,24	0,26	0,06
PCB 138	0,44	0,54	0,18
PCB 153	0,52	0,63	0,21
PCB 180	0,23	0,28	0,09
Σ Indicator PCBs	1,55	1,84	0,59
Σ Congeners PCBs(*)	1,91	2,25	0,66
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,20	0,16	0,10
TETRA - CB	0,69	0,72	0,21
PENTA - CB	1,49	1,74	0,36
ESA - CB	1,98	2,52	0,79
EPTA - CB	0,58	0,67	0,22
Σ Chlorinated Class PCBs	4,94	5,82	1,67
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,56	0,47	0,17
2005 WHO-TEQ	0,51	0,42	0,16
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,56	0,47	0,17
2005 WHO-TEQ	0,51	0,42	0,16
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,56	0,47	0,17
2005 WHO-TEQ	0,51	0,42	0,16

Pool Lab. Code:	DP-14-029-080414-8	DP-14-030-080414-9	DP-14-031-080414-10
Sampling code:	P7	P8	P9
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	7-Jul-14	7-Jul-14	7-Jul-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0002	0,0007	0,0005
PCB-77	0,0033	0,0230	0,0196
PCB-126	0,0016	0,0038	0,0034
PCB-169	0,0005	0,0008	0,0008
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,02	0,14	0,08
PCB 114	0,001	0,003	0,001
PCB 118	0,06	0,37	0,20
PCB 123	0,004	0,008	0,006
PCB 156	0,02	0,09	0,05
PCB 157	0,01	0,02	0,02
PCB 167	0,02	0,05	0,04
PCB 189	0,004	0,019	0,010
Indicator PCBs			
PCB 28	0,02	0,04	0,03
PCB 52	0,03	0,08	0,05
PCB 101	0,07	0,33	0,18
PCB 138	0,30	0,90	0,59
PCB 153	0,39	1,48	0,63
PCB 180	0,18	1,44	0,43
Σ Indicator PCBs	1,00	4,27	1,90
Σ Congeners PCBs(*)	1,09	4,76	2,17
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,12	0,21	0,14
TETRA - CB	0,25	0,87	0,46
PENTA - CB	0,45	1,94	1,30
ESA - CB	1,16	5,00	2,76
EPTA - CB	0,39	2,91	1,00
Σ Chlorinated Class PCBs	2,38	10,92	5,66
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,19	0,50	0,42
2005 WHO-TEQ	0,18	0,43	0,38
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,19	0,50	0,42
2005 WHO-TEQ	0,18	0,43	0,38
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,19	0,50	0,42
2005 WHO-TEQ	0,18	0,43	0,38

Pool Lab. Code:	DP-13-044-030414-4	DP-13-045-030414-5	DP-14-032-080414-11
Sampling code:	P10	P11	P12
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	24-Jun-14	24-Jun-14	7-Jul-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0001	0,0014	0,0003
PCB-77	0,0020	0,0416	0,0056
PCB-126	0,0014	0,0094	0,0032
PCB-169	0,0005	0,0011	0,0007
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,01	0,34	0,03
PCB 114	0,000	0,009	0,001
PCB 118	0,02	0,89	0,08
PCB 123	0,00	0,03	0,005
PCB 156	0,01	0,23	0,06
PCB 157	0,01	0,09	0,02
PCB 167	0,01	0,15	0,04
PCB 189	0,00	0,02	0,014
Indicator PCBs			
PCB 28	0,02	0,04	0,03
PCB 52	0,02	0,11	0,03
PCB 101	0,03	0,58	0,08
PCB 138	0,19	2,24	0,52
PCB 153	0,22	2,29	0,63
PCB 180	0,10	0,92	0,61
Σ Indicator PCBs	0,57	6,19	1,90
Σ Congeners PCBs(*)	0,62	7,36	2,06
(*) : Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,08	0,21	0,12
TETRA - CB	0,22	1,06	0,29
PENTA - CB	0,17	4,76	0,57
ESA - CB	0,65	9,18	2,36
EPTA - CB	0,22	1,85	1,43
Σ Chlorinated Class PCBs	1,35	17,06	4,77
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,16	1,25	0,38
2005 WHO-TEQ	0,16	1,03	0,34
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,16	1,25	0,38
2005 WHO-TEQ	0,16	1,03	0,34
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,16	1,25	0,38

2005 WHO-TEQ	0,16	1,03	0,34
Pool Lab. Code:	OCP-013-040-030414-1	OCP-14-026-080414-5	OCP-013-042-030414-2
Sampling code:	P1	P2	P3
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	22-May-14	23-May-14	22-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,036	0,028	0,055
HCBz	0,026	0,039	0,128
a-HCH	0,005	0,003	0,005
b-HCH	0,004	0,003	0,005
g-HCH	0,028	0,047	0,036
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,037	0,054	0,046
trans-chlordane	0,051	0,011	0,007
cis-chlordane	0,029	0,009	0,007
Sum-Chlordane	0,080	0,020	0,013
Oxychlordane	<0,001	<0,001	0,003
Aldrin	0,008	0,002	0,048
Dieldrin	0,014	0,031	0,169
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,022	0,033	0,218
op-DDE	0,119	0,006	0,015
pp-DDE	0,677	0,138	0,074
op-DDD	0,368	0,017	0,012
pp-DDD	0,531	0,027	0,017
op-DDT	0,018	0,018	0,017
pp-DDT	0,025	0,037	0,044
Sum-DDT total	1,738	0,243	0,179
Heptachlor	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,001	0,004	0,008
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,001	0,004	0,008
trans-nonachlor	0,002	0,014	0,012
cis-nonachlor	0,021	0,015	0,016
Sum-nonachlor	0,023	0,029	0,027
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,009	0,008	0,004
Sum-Endosulfanes	0,009	0,008	0,004
Endosulfane-sulphate	0,002	0,005	0,001

Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,001	0,001	0,001
Pool Lab. Code:	OCP-14-027-080414-6	OCP-013-043-030414-3	OCP-14-028-080414-7
Sampling code:	P4	P5	P6
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	23-May-14	22-May-14	23-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,045	0,074	0,030
HCBz	0,064	0,125	0,073
a-HCH	0,005	0,008	0,003
b-HCH	0,005	0,011	0,004
g-HCH	0,051	0,067	0,049
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,061	0,086	0,056
trans-chlordane	0,314	0,021	0,005
cis-chlordane	0,142	0,024	0,003
Sum-Chlordane	0,456	0,045	0,008
Oxychlordane	0,008	0,006	<0,001
Aldrin	<0,001	0,003	<0,001
Dieldrin	0,017	0,055	0,013
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,017	0,059	0,013
op-DDE	0,014	0,054	0,002
pp-DDE	0,275	0,322	0,028
op-DDD	0,037	0,055	0,005
pp-DDD	0,032	0,066	0,008
op-DDT	0,044	0,021	0,016
pp-DDT	0,063	0,052	0,033
Sum-DDT total	0,464	0,570	0,093
Heptachlor	0,004	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,009	0,004	0,004
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,009	0,004	0,004
trans-nonachlor	0,056	0,022	0,008
cis-nonachlor	0,018	0,023	0,014
Sum-nonachlor	0,074	0,044	0,022
Endosulfane-alpha	0,024	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,052	0,012	0,003
Sum-Endosulfanes	0,076	0,012	0,003
Endosulfane-sulphate	0,007	0,002	0,002
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,001	0,002	0,001

Pool Lab. Code:	OCP-14-029-080414-8	OCP-14-030-080414-9	OCP-14-031-080414-10B
Sampling code:	P7	P8	P8
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	23-May-14	23-May-14	27-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,062	0,019	0,053
HCBz	0,125	0,025	0,062
a-HCH	0,004	0,003	0,003
b-HCH	0,004	0,004	0,003
g-HCH	0,046	0,047	0,039
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,054	0,054	0,046
trans-chlordane	0,005	0,011	0,013
cis-chlordane	0,004	0,016	0,016
Sum-Chlordane	0,009	0,027	0,030
Oxychlordane	0,003	<0,001	0,002
Aldrin	0,002	<0,001	0,002
Dieldrin	0,020	0,015	0,022
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,022	0,015	0,024
op-DDE	0,003	0,009	0,032
pp-DDE	0,054	0,363	0,204
op-DDD	0,007	0,041	0,020
pp-DDD	0,015	0,077	0,030
op-DDT	0,029	0,127	0,016
pp-DDT	0,070	0,062	0,040
Sum-DDT total	0,178	0,678	0,342
Heptachlor	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,010	0,001	0,003
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,010	0,001	0,003
trans-nonachlor	0,014	0,030	0,039
cis-nonachlor	0,016	0,015	0,015
Sum-nonachlor	0,030	0,045	0,054
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	0,023
Endosulfane-beta	0,006	0,019	0,011
Sum-Endosulfanes	0,006	0,019	0,035
Endosulfane-sulphate	0,003	0,004	0,002
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,001	0,002	0,001

Pool Lab. Code:	OCP-013-044-030414-4	OCP-013-045-030414-5	OCP-14-032-080414-11
Sampling code:	P10	P11	P12
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	22-May-14	22-May-14	23-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,132	0,055	0,041
HCBz	0,107	0,088	0,041
a-HCH	0,004	0,005	0,003
b-HCH	0,004	0,007	0,003
g-HCH	0,045	0,063	0,034
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,054	0,075	0,040
trans-chlordane	0,006	0,018	0,003
cis-chlordane	0,005	0,028	0,002
Sum-Chlordane	0,012	0,046	0,005
Oxychlordane	<0,001	<0,001	<0,001
Aldrin	0,005	0,002	<0,001
Dieldrin	0,014	0,047	0,013
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,020	0,049	0,013
op-DDE	0,007	0,019	0,002
pp-DDE	0,041	0,227	0,092
op-DDD	0,006	0,031	0,003
pp-DDD	0,016	0,078	0,013
op-DDT	0,019	0,030	0,026
pp-DDT	0,060	0,096	0,107
Sum-DDT total	0,149	0,481	0,242
Heptachlor	0,002	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,004	0,004	0,004
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,004	0,004	0,004
trans-nonachlor	0,007	0,077	0,008
cis-nonachlor	0,013	0,018	0,016
Sum-nonachlor	0,020	0,096	0,024
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	<0,001	0,021	<0,001
Sum-Endosulfanes	---	0,021	---
Endosulfane-sulphate	0,001	0,003	0,003
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,001	0,002	0,001

Pool Lab. Code:	BR-13-040-030414-1	BR-14-026-080414-5	BR-13-042-030414-2
Sampling code:	P1	P2	P3
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	10-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	0,002	0,004	0,003
BDE-47	0,029	0,15	0,289
BDE-99	0,037	0,19	0,471
BDE-100	0,010	0,052	0,120
BDE-153	0,008	0,031	0,068
BDE-154	0,005	0,026	0,055
BDE-183	0,010	0,017	0,030
BDE-209	1,08	12,59	17,89
Total WFD PBDE	0,090	0,451	1,006
Total OCTA Formulated	0,010	0,017	0,030
Total DECA Formulated	1,08	12,59	17,89

Pool Lab. Code:	BR-14-027-080414-6	BR-13-043-030414-3	BR-14-028-080414-7
Sampling code:	P4	P5	P6
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	10-Jul-14	11-Jul-14	10-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	0,003	<0,001
BDE-47	0,019	0,25	0,008
BDE-99	0,020	0,33	0,010
BDE-100	0,007	0,077	0,004
BDE-153	0,005	0,055	0,003
BDE-154	0,004	0,042	0,003
BDE-183	0,004	0,033	0,003
BDE-209	1,36	91,63	0,34
Total WFD PBDE	0,055	0,752	0,028
Total OCTA Formulated	0,004	0,033	0,003
Total DECA Formulated	1,36	91,63	0,34

Pool Lab. Code:	BR-14-029-080414-8	BR-14-030-080414-9	BR-14-031-080414-10
Sampling code:	P7	P8	P9
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,008	0,029	0,012
BDE-99	0,010	0,041	0,015
BDE-100	0,004	0,008	0,005
BDE-153	0,003	0,007	0,004
BDE-154	0,003	0,004	0,003
BDE-183	0,004	0,005	0,004
BDE-209	0,38	4,57	0,69
Total WFD PBDE	0,029	0,089	0,039
Total OCTA Formulated	0,004	0,005	0,004
Total DECA Formulated	0,38	4,57	0,69

Pool Lab. Code:	BR-13-044-030414-4	BR-13-045-030414-5	BR-14-032-080414-11
Sampling code:	P10	P10	P12
Location:	Parona (PV)	Parona (PV)	Parona (PV)
Source:	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore	Termovalorizzatore
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,005	0,015	0,007
BDE-99	0,005	0,011	0,009
BDE-100	0,004	0,004	0,005
BDE-153	0,002	0,003	0,002
BDE-154	0,003	0,003	0,003
BDE-183	0,002	0,004	0,002
BDE-209	0,38	0,27	0,27
Total WFD PBDE	0,018	0,038	0,026
Total OCTA Formulated	0,002	0,004	0,002
Total DECA Formulated	0,38	0,27	0,27

APPENDICE B: Risultati dell'impianto di rigenerazione oli esausti di Pieve Fissiraga (LO)

Pool Lab. Code:	DP-13-054-270314-5	DP-13-055-270314-6	DP-13-056-270314-7
Sampling code:	V1	V2	V3
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	19-Jun-14	19-Jun-14	19-Jun-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,02	0,03	0,03
12378-PeCDD	0,08	0,10	0,09
123478-HxCDD	0,10	0,10	0,11
123678-HxCDD	0,22	0,23	0,22
123789-HxCDD	0,18	0,20	0,18
1234678-HpCDD	2,92	3,03	2,66
OCDD	14,92	13,31	13,30
2378-TCDF	0,28	0,32	0,37
12378-PeCDF	0,33	0,31	0,36
23478-PeCDF	0,41	0,35	0,44
123478-HxCDF	0,76	0,68	0,87
123678-HxCDF	0,49	0,45	0,54
234678-HxCDF	0,59	0,58	0,64
123789-HxCDF	0,15	0,15	0,19
1234678-HpCDF	3,83	3,79	4,38
1234789-HpCDF	0,43	0,37	0,52
OCDF	7,08	6,73	9,13
Upper-bound			
I-TEQ	0,65	0,63	0,72
1998 WHO-TEQ	0,67	0,66	0,75
2005 WHO-TEQ	0,59	0,59	0,66
Middle-bound			
I-TEQ	0,65	0,63	0,72
1998 WHO-TEQ	0,67	0,66	0,75
2005 WHO-TEQ	0,59	0,59	0,66
Lower-bound			
I-TEQ	0,65	0,63	0,72
1998 WHO-TEQ	0,67	0,66	0,75
2005 WHO-TEQ	0,59	0,59	0,66
Total PCDD/Fs			
TCDD	2,49	1,61	2,20
PeCDD	2,73	2,23	2,50
HxCDD	3,64	3,25	3,39
HpCDD	5,53	5,55	5,24
OCDD	14,92	13,31	13,30
TCDF	4,20	3,66	4,89
PeCDF	5,80	5,11	5,92
HxCDF	5,45	5,51	6,36
HpCDF	5,65	5,24	6,43
OCDF	7,08	6,73	9,13
Total PCDDs	29,32	25,95	26,62

Total PCDFs	28,18	26,25	32,73
Total PCDD/Fs	57.50	52.20	59.35
Pool Lab. Code:	DP-13-057-270314-8	DP-13-058-270314-9	DP-13-059-270314-10
Sampling code:	V4	V5	V6
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	19-Jun-14	19-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,02	0,02	0,02
12378-PeCDD	0,08	0,09	0,09
123478-HxCDD	0,11	0,11	0,12
123678-HxCDD	0,25	0,24	0,30
123789-HxCDD	0,19	0,18	0,21
1234678-HpCDD	3,80	2,82	4,34
OCDD	20,87	12,81	24,93
2378-TCDF	0,35	0,37	0,37
12378-PeCDF	0,35	0,38	0,36
23478-PeCDF	0,39	0,42	0,41
123478-HxCDF	0,84	0,88	0,82
123678-HxCDF	0,52	0,59	0,52
234678-HxCDF	0,64	0,65	0,65
123789-HxCDF	0,18	0,20	0,18
1234678-HpCDF	4,62	4,66	4,12
1234789-HpCDF	0,59	0,60	0,46
OCDF	9,23	9,60	7,43
Upper-bound			
I-TEQ	0,70	0,72	0,73
1998 WHO-TEQ	0,72	0,75	0,75
2005 WHO-TEQ	0,64	0,66	0,66
Middle-bound			
I-TEQ	0,70	0,72	0,73
1998 WHO-TEQ	0,72	0,75	0,75
2005 WHO-TEQ	0,64	0,66	0,66
Lower-bound			
I-TEQ	0,70	0,72	0,73
1998 WHO-TEQ	0,72	0,75	0,75
2005 WHO-TEQ	0,64	0,66	0,66
Total PCDD/Fs			
TCDD	2,16	2,53	2,50
PeCDD	2,42	2,61	2,63
HxCDD	3,38	3,26	3,69
HpCDD	7,12	5,09	7,84
OCDD	20,87	12,81	24,93
TCDF	4,43	4,87	4,67
PeCDF	5,74	6,37	6,03
HxCDF	6,25	6,45	6,21
HpCDF	6,86	6,96	6,36
OCDF	9,23	9,60	7,43
Total PCDDs	35,95	26,30	41,59
Total PCDFs	32,50	34,26	30,70
Total PCDD/Fs	68,45	60,56	72,29

Pool Lab. Code:	DP-13-060-270314-11	DP-13-061-270314-12
Sampling code:	V7	V8
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	20-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs		
2378-TCDD	0,03	0,02
12378-PeCDD	0,10	0,12
123478-HxCDD	0,13	0,16
123678-HxCDD	0,29	0,37
123789-HxCDD	0,20	0,28
1234678-HpCDD	4,86	4,73
OCDD	28,14	20,95
2378-TCDF	2,55	0,52
12378-PeCDF	3,60	0,54
23478-PeCDF	2,58	0,61
123478-HxCDF	4,94	1,38
123678-HxCDF	1,56	0,86
234678-HxCDF	1,12	1,00
123789-HxCDF	1,11	0,30
1234678-HpCDF	5,47	7,44
1234789-HpCDF	1,17	0,87
OCDF	10,83	17,68
Upper-bound		
I-TEQ	2,90	1,08
1998 WHO-TEQ	2,92	1,10
2005 WHO-TEQ	2,34	0,98
Middle-bound		
I-TEQ	2,90	1,08
1998 WHO-TEQ	2,92	1,10
2005 WHO-TEQ	2,34	0,98
Lower-bound		
I-TEQ	2,90	1,08
1998 WHO-TEQ	2,92	1,10
2005 WHO-TEQ	2,34	0,98
Total PCDD/Fs		
TCDD	2,74	2,80
PeCDD	2,74	3,42
HxCDD	3,80	4,89
HpCDD	9,16	12,94
OCDD	28,14	20,95
TCDF	11,55	6,01
PeCDF	17,81	8,93
HxCDF	14,16	9,83
HpCDF	8,95	11,12
OCDF	10,83	17,68
Total PCDDs	46,58	44,99
Total PCDFs	63,30	53,57
Total PCDD/Fs	109,88	98,57

Pool Lab. Code:	DP-13-054-270314-5	DP-13-055-270314-6	DP-13-056-270314-7
Sampling code:	V1	V2	V3
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	19-Jun-14	19-Jun-14	19-Jun-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0001	0,0001	0,0002
PCB-77	0,0024	0,0021	0,0032
PCB-126	0,0014	0,0013	0,0019
PCB-169	0,0005	0,0005	0,0006
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,02	0,02	0,04
PCB 114	0,001	0,0005	0,001
PCB 118	0,06	0,05	0,11
PCB 123	0,003	0,003	0,005
PCB 156	0,03	0,02	0,03
PCB 157	0,01	0,01	0,01
PCB 167	0,02	0,01	0,02
PCB 189	0,005	0,003	0,004
Indicator PCBs			
PCB 28	0,02	0,02	0,03
PCB 52	0,02	0,02	0,03
PCB 101	0,04	0,03	0,08
PCB 138	0,27	0,15	0,30
PCB 153	0,32	0,18	0,36
PCB 180	0,19	0,10	0,18
Σ Indicator PCBs	0,88	0,49	0,97
Σ Congeners PCBs(*)	0,97	0,56	1,11
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,11	0,10	0,12
TETRA - CB	0,26	0,17	0,32
PENTA - CB	0,29	0,21	0,59
ESA - CB	1,00	0,61	1,23
EPTA - CB	0,43	0,22	0,39
Σ Chlorinated Class PCBs	2,08	1,30	2,66
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,18	0,16	0,23
2005 WHO-TEQ	0,16	0,15	0,21
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,18	0,16	0,23
2005 WHO-TEQ	0,16	0,15	0,21
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,18	0,16	0,23
2005 WHO-TEQ	0,16	0,15	0,21

Pool Lab. Code:	DP-13-057-270314-8	DP-13-058-270314-9	DP-13-059-270314-10
Sampling code:	V4	V5	V6
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	19-Jun-14	19-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0001	0,0001	0,0001
PCB-77	0,0021	0,0028	0,0025
PCB-126	0,0016	0,0021	0,0016
PCB-169	0,0005	0,0005	0,0005
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,03	0,05	0,03
PCB 114	0,001	0,001	0,001
PCB 118	0,08	0,12	0,07
PCB 123	0,003	0,004	0,003
PCB 156	0,02	0,04	0,02
PCB 157	0,01	0,01	0,01
PCB 167	0,02	0,02	0,02
PCB 189	0,003	0,005	0,005
Indicator PCBs			
PCB 28	0,01	0,01	0,01
PCB 52	0,02	0,02	0,02
PCB 101	0,04	0,08	0,05
PCB 138	0,19	0,34	0,24
PCB 153	0,22	0,41	0,29
PCB 180	0,16	0,22	0,17
Σ Indicator PCBs	0,64	1,08	0,78
Σ Congeners PCBs(*)	0,75	1,26	0,89
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,07	0,06	0,07
TETRA - CB	0,19	0,18	0,18
PENTA - CB	0,31	0,58	0,35
ESA - CB	0,72	1,43	0,99
EPTA - CB	0,32	0,48	0,39
Σ Chlorinated Class PCBs	1,60	2,73	1,98
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,19	0,26	0,19
2005 WHO-TEQ	0,18	0,23	0,18
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,19	0,26	0,19
2005 WHO-TEQ	0,18	0,23	0,18
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,19	0,26	0,19
2005 WHO-TEQ	0,18	0,23	0,18

Pool Lab. Code:	DP-13-060-270314-11	DP-13-061-270314-12
Sampling code:	V7	V8
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	20-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs		
Non-ortho-substituted PCBs		
PCB-81	0,0002	0,0001
PCB-77	0,0047	0,0024
PCB-126	0,0020	0,0021
PCB-169	0,0006	0,0006
Mono-ortho-substituted PCBs		
PCB 105	0,07	0,02
PCB 114	0,003	0,001
PCB 118	0,16	0,06
PCB 123	0,005	0,004
PCB 156	0,04	0,03
PCB 157	0,01	0,01
PCB 167	0,02	0,02
PCB 189	0,005	0,005
Indicator PCBs		
PCB 28	0,02	0,02
PCB 52	0,04	0,02
PCB 101	0,14	0,03
PCB 138	0,35	0,24
PCB 153	0,42	0,27
PCB 180	0,24	0,18
Σ Indicator PCBs	1,21	0,75
Σ Congeners PCBs(*)	1,42	0,84
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.		
Total PCBs for Chlorinated Class		
TRI - CB	0,11	0,09
TETRA - CB	0,30	0,16
PENTA - CB	0,94	0,24
ESA - CB	1,71	0,90
EPTA - CB	0,54	0,37
Σ Chlorinated Class PCBs	3,60	1,76
Concentration:	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ		
Upper-bound		
1998 WHO-TEQ	0,26	0,25
2005 WHO-TEQ	0,23	0,24
Middle-bound		
1998 WHO-TEQ	0,26	0,25
2005 WHO-TEQ	0,23	0,24
Lower-bound		
1998 WHO-TEQ	0,26	0,25
2005 WHO-TEQ	0,23	0,24

Pool Lab. Code:	OCP-13-054-270514-5	OCP-13-055-270514-6	OCP-13-056-270514-7
	V1	V2	V3
Sampling code:			
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	20-May-14	20-May-14	20-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,058	0,079	0,050
HCBz	0,146	0,167	0,100
a-HCH	0,007	0,004	0,049
b-HCH	0,009	0,005	0,203
g-HCH	0,054	0,042	0,078
d-HCH	<0,0015	<0,0015	0,036
e-HCH	<0,0015	<0,0015	0,005
Sum-HCHs	0,070	0,052	0,329
trans-chlordane	0,204	0,004	0,006
cis-chlordane	0,070	0,002	0,004
Sum-Chlordane	0,274	0,006	0,009
Oxychlordane	0,155	0,003	0,007
Aldrin	0,204	0,002	<0,001
Dieldrin	1,721	0,019	0,014
Endrin	0,007	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	1,931	0,021	0,014
op-DDE	0,005	0,005	0,005
pp-DDE	0,080	0,044	0,095
op-DDD	0,003	0,002	0,007
pp-DDD	0,010	0,006	0,012
op-DDT	0,027	0,017	0,025
pp-DDT	0,078	0,049	0,079
Sum-DDT total	0,203	0,124	0,222
Heptachlor	0,059	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,810	0,005	0,033
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoixides	0,810	0,005	0,033
trans-nonachlor	0,593	0,011	0,018
cis-nonachlor	0,019	0,015	0,011
Sum-nonachlor	0,611	0,026	0,030
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,079	<0,001	0,004
Sum-Endosulfanes	0,079	---	0,004
Endosulfane-sulphate	0,009	<0,0005	0,002
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,001	0,001	0,001

Pool Lab. Code:	OCP-13-057-270514-8	OCP-13-058-270514-9	OCP-13-059-270514-10
Sampling code:	V4	V5	V6
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	20-May-14	20-May-14	20-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,059	0,078	0,058
HCBz	0,090	0,068	0,117
a-HCH	0,020	0,008	0,004
b-HCH	0,028	0,010	0,004
g-HCH	0,042	0,041	0,034
d-HCH	0,009	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,090	0,060	0,041
trans-chlordane	0,003	0,004	0,004
cis-chlordane	0,002	0,003	0,003
Sum-Chlordane	0,004	0,007	0,008
Oxychlordane	<0,001	0,004	0,003
Aldrin	<0,001	0,063	<0,001
Dieldrin	0,011	0,262	0,017
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,011	0,325	0,017
op-DDE	0,010	0,004	0,006
pp-DDE	1,097	0,126	0,443
op-DDD	0,005	0,006	0,008
pp-DDD	0,047	0,017	0,051
op-DDT	0,108	0,021	0,070
pp-DDT	1,229	0,081	0,655
Sum-DDT total	2,495	0,256	1,232
Heptachlor	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,003	0,026	0,013
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoixides	0,003	0,026	0,013
trans-nonachlor	0,006	0,024	0,018
cis-nonachlor	0,013	0,013	0,015
Sum-nonachlor	0,020	0,037	0,034
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	<0,001	0,006	<0,001
Sum-Endosulfanes	---	0,006	---
Endosulfane-sulphate	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,001	0,001	0,001

Pool Lab. Code:	OCP-13-060-270514-11	OCP-13-061-270514-12
Sampling code:	V7	V8
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	20-May-14	20-May-14
Concentration	ng/g	ng/g
PeCBz	0,094	0,138
HCBz	0,165	0,111
a-HCH	0,005	0,005
b-HCH	0,004	0,006
g-HCH	0,042	0,036
d-HCH	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,051	0,046
trans-chlordane	0,007	0,003
cis-chlordane	0,010	0,002
Sum-Chlordane	0,017	0,005
Oxychlordane	0,006	<0,001
Aldrin	<0,001	0,002
Dieldrin	0,028	0,014
Endrin	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,028	0,016
op-DDE	0,070	0,002
pp-DDE	0,373	0,032
op-DDD	0,012	0,003
pp-DDD	0,025	0,008
op-DDT	0,022	0,013
pp-DDT	0,073	0,030
Sum-DDT total	0,575	0,089
Heptachlor	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,055	0,004
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoixides	0,055	0,004
trans-nonachlor	0,033	0,004
cis-nonachlor	0,035	0,013
Sum-nonachlor	0,068	0,018
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,009	0,003
Sum-Endosulfanes	0,009	0,003
Endosulfane-sulphate	0,009	<0,0005
Methoxychlor	<0,02	<0,02
Mirex	0,004	0,002

Pool Lab. Code:	BR-13-054-270314-5	BR-13-055-270314-6	BR-13-056-270314-7
Sampling code:	V1	V2	V3
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,008	0,009	0,007
BDE-99	0,012	0,011	0,009
BDE-100	0,004	0,005	0,004
BDE-153	0,003	0,003	0,003
BDE-154	0,004	0,005	0,003
BDE-183	0,003	0,002	0,003
BDE-209	0,512	0,692	0,558
Total WFD PBDE	0,030	0,032	0,026
Total OCTA Formulated	0,003	0,002	0,003
Total DECA Formulated	0,512	0,692	0,558

Pool Lab. Code:	BR-13-057-270314-8	BR-13-058-270314-9	BR-13-059-270314-10
Sampling code:	V4	V5	V6
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,007	0,022	0,007
BDE-99	0,010	0,045	0,010
BDE-100	0,004	0,014	0,005
BDE-153	0,003	0,007	0,006
BDE-154	0,004	0,006	0,004
BDE-183	0,002	0,003	0,022
BDE-209	0,472	0,284	1,335
Total WFD PBDE	0,028	0,095	0,033
Total OCTA Formulated	0,002	0,003	0,022
Total DECA Formulated	0,472	0,284	1,335

Pool Lab. Code:	BR-13-060-270314-11	BR-13-061-270314-12
Sampling code:	V7	V8
Location:	Pieve Fissiraga (LO)	Pieve Fissiraga (LO)
Source:	Viscolube	Viscolube
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001
BDE-47	0,178	0,008
BDE-99	0,370	0,012
BDE-100	0,093	0,005
BDE-153	0,073	0,003
BDE-154	0,051	0,004
BDE-183	0,060	0,004
BDE-209	6,608	0,736
Total WFD PBDE	0,764	0,033
Total OCTA Formulated	0,060	0,004
Total DECA Formulated	6,608	0,736

APPENDICE C: Risultati tratto autostradale Milano-Como ad Origgio (VA)

Pool Lab. Code:	DP-14-033-030414-10	DP-14-034-030414-11
Sampling code:	01/03/06/08	02/04/05/07
Location:	Origgio (VA)	Origgio (VA)
Source:	Autostrada - vicino	Autostrada - lontano
Matrix:	Pooled soil	Pooled soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	4-Jul-14	5-Jul-14
Concentration:	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs		
2378-TCDD	0,11	0,10
12378-PeCDD	0,25	0,26
123478-HxCDD	0,34	0,36
123678-HxCDD	0,88	0,98
123789-HxCDD	0,67	0,72
1234678-HpCDD	12,04	13,92
OCDD	90,24	103,28
2378-TCDF	1,24	1,37
12378-PeCDF	1,12	1,14
23478-PeCDF	1,36	1,28
123478-HxCDF	2,28	2,29
123678-HxCDF	1,57	1,55
234678-HxCDF	2,46	2,58
123789-HxCDF	1,02	0,90
1234678-HpCDF	18,71	20,78
1234789-HpCDF	1,62	1,56
OCDF	48,97	56,06
Upper-bound		
I-TEQ	2,48	2,53
1998 WHO-TEQ	2,48	2,51
2005 WHO-TEQ	2,22	2,27
Middle-bound		
I-TEQ	2,48	2,53
1998 WHO-TEQ	2,48	2,51
2005 WHO-TEQ	2,22	2,27
Lower-bound		
I-TEQ	2,48	2,53
1998 WHO-TEQ	2,48	2,51
2005 WHO-TEQ	2,22	2,27
Total PCDD/Fs		
TCDD	4,98	5,30
PeCDD	6,08	6,20
HxCDD	10,20	10,88
HpCDD	22,87	26,10
OCDD	90,24	103,28
TCDF	13,69	14,87
PeCDF	18,34	19,74
HxCDF	20,83	22,61
HpCDF	30,35	35,03
OCDF	48,97	56,06
Total PCDDs	134,37	151,75
Total PCDFs	132,17	148,32
Total PCDD/Fs	266,53	300,08

Pool Lab. Code:	DP-14-033-030414-10	DP-14-034-030414-11
Sampling code:	01/03/06/08	02/04/05/07
Location:	Origgio (VA)	Origgio (VA)
Source:	Autostrada - vicino	Autostrada - lontano
Matrix:	Pooled soil	Pooled soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	4-Jul-14	5-Jul-14
Concentration:	ng/g	ng/g
<i>Dioxin-Like PCBs</i>		
<i>Non-ortho-substituted PCBs</i>		
PCB-81	0,0008	
PCB-77	0,0139	0,0145
PCB-126	0,0057	0,0070
PCB-169	0,0017	0,0018
<i>Mono-ortho-substituted PCBs</i>		
PCB 105	0,08	0,11
PCB 114	0,002	0,003
PCB 118	0,21	0,26
PCB 123	0,006	0,008
PCB 156	0,07	0,09
PCB 157	0,02	0,02
PCB 167	0,04	0,05
PCB 189	0,011	0,011
<i>Indicator PCBs</i>		
PCB 28	0,02	0,04
PCB 52	0,04	0,06
PCB 101	0,19	0,23
PCB 138	0,59	0,68
PCB 153	0,87	0,95
PCB 180	0,53	0,50
Σ Indicator PCBs	2,24	2,45
<i>Σ Congeners PCBs(*)</i>	2,54	2,83
(*) : Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.		
<i>Total PCBs for Chlorinated Class</i>		
TRI - CB	0,13	0,16
TETRA - CB	0,34	0,47
PENTA - CB	1,02	1,33
ESA - CB	2,44	2,96
EPTA - CB	1,06	1,11
<i>Σ Chlorinated Class PCBs</i>	4,99	6,03
Concentration:	pg/g	pg/g
<i>PCBs in TEQ</i>		
Upper-bound		
1998 WHO-TEQ	0,66	0,81
2005 WHO-TEQ	0,63	0,77
Middle-bound		
1998 WHO-TEQ	0,66	0,81
2005 WHO-TEQ	0,63	0,77
Lower-bound		
1998 WHO-TEQ	0,66	0,81
2005 WHO-TEQ	0,63	0,77

Pool Lab. Code:	OCP-014-033-030414-10	OCP-014-034-030414-11
Sampling code:	01/03/06/08	02/04/05/07
Location:	Origgio (VA)	Origgio (VA)
Source:	Autostrada - vicino	Autostrada - lontano
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	22-May-14	22-May-14
Concentration	ng/g	ng/g
PeCBz	0,111	0,131
HCBz	1,214	1,349
a-HCH	0,006	0,009
b-HCH	0,006	0,019
g-HCH	0,070	0,081
d-HCH	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,083	0,108
trans-chlordane	0,007	0,011
cis-chlordane	0,006	0,008
Sum-Chlordane	0,013	0,019
Oxychlordane	0,008	0,011
Aldrin	0,022	0,008
Dieldrin	0,565	0,280
Endrin	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,587	0,288
op-DDE	0,094	0,091
pp-DDE	6,472	6,645
op-DDD	0,034	0,035
pp-DDD	0,119	0,106
op-DDT	0,423	0,486
pp-DDT	1,32	1,39
Sum-DDT total	8,46	8,75
Heptachlor	<0,0008	0,002
Heptachlor-exo-epoxide	0,008	0,027
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoixides	0,008	0,027
trans-nonachlor	0,033	0,038
cis-nonachlor	0,126	0,115
Sum-nonachlor	0,160	0,153
Endosulfane-alpha	0,103	0,092
Endosulfane-beta	0,015	0,025
Sum-Endosulfanes	0,117	0,118
Endosulfane-sulphate	0,221	0,254
Methoxychlor	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,002

Pool Lab. Code:	BR-14-033-030414-10	BR-14-034-030414-11
Sampling code:	01/03/06/08	02/04/05/07
Location:	Origgio (VA)	Origgio (VA)
Source:	Autostrada - vicino	Autostrada - lontano
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	10-Jul-14	10-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001
BDE-47	0,056	0,065
BDE-99	0,068	0,081
BDE-100	0,026	0,026
BDE-153	0,020	0,019
BDE-154	0,018	0,016
BDE-183	0,033	0,199
BDE-209	4,737	4,070
Total WFD PBDE	0,187	0,207
Total OCTA Formulated	0,033	0,199
Total DECA Formulated	4,737	4,070

APPENDICE D: Risultati Cementificio (Broni, PV)

Pool Lab. Code:	DP-14-035-030414-12	DP-14-036-030414-13	DP-14-037-030414-14
Sampling code:	IT1 / IT4 / IT7	IT2 / IT5 / IT8	IT3 / IT6 / IT9
Location:	Broni (PV)	Broni (PV)	Broni (PV)
Source:	Cementificio - 500 m	Cementificio - 1000 m	Cementificio - 1500 m
Matrix:	Pooled soil	Pooled soil	Pooled soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	5-Jul-14	5-Jul-14	5-Jul-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,03	0,03	0,04
12378-PeCDD	0,13	0,11	0,14
123478-HxCDD	0,11	0,11	0,12
123678-HxCDD	0,22	0,21	0,24
123789-HxCDD	0,26	0,24	0,30
1234678-HpCDD	2,33	2,38	2,84
OCDD	14,03	22,20	28,44
2378-TCDF	0,29	0,27	0,35
12378-PeCDF	0,34	0,29	0,35
23478-PeCDF	0,36	0,35	0,39
123478-HxCDF	0,69	0,62	0,78
123678-HxCDF	0,50	0,43	0,55
234678-HxCDF	0,55	0,49	0,59
123789-HxCDF	0,15	0,15	0,18
1234678-HpCDF	3,57	2,96	3,93
1234789-HpCDF	0,50	0,44	0,59
OCDF	8,70	9,79	16,90
Upper-bound			
I-TEQ	0,66	0,61	0,76
1998 WHO-TEQ	0,70	0,64	0,78
2005 WHO-TEQ	0,63	0,57	0,71
Middle-bound			
I-TEQ	0,66	0,61	0,76
1998 WHO-TEQ	0,70	0,64	0,78
2005 WHO-TEQ	0,63	0,57	0,71
Lower-bound			
I-TEQ	0,66	0,61	0,76
1998 WHO-TEQ	0,70	0,64	0,78
2005 WHO-TEQ	0,63	0,57	0,71
Total PCDD/Fs			
TCDD	1,14	1,22	1,63
PeCDD	1,73	1,82	2,06
HxCDD	2,92	2,90	3,36
HpCDD	4,64	4,60	5,70
OCDD	14,03	22,20	28,44
TCDF	4,08	3,95	5,32
PeCDF	5,19	5,14	5,79
HxCDF	4,97	4,51	5,56
HpCDF	5,26	4,45	6,00
OCDF	8,70	9,79	16,90
Total PCDDs	24,46	32,73	41,20
Total PCDFs	28,20	27,83	39,57
Total PCDD/Fs	52,66	60,57	80,77

Pool Lab. Code:	DP-14-035-030414-12	DP-14-036-030414-13	DP-14-037-030414-14
Sampling code:	IT1 / IT4 / IT7	IT2 / IT5 / IT8	IT3 / IT6 / IT9
Location:	Broni (PV)	Broni (PV)	Broni (PV)
Source:	Cementificio - 500 m	Cementificio - 1000 m	Cementificio - 1500 m
Matrix:	Pooled soil	Pooled soil	Pooled soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	5-Jul-14	5-Jul-14	5-Jul-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0002	0,0002	
PCB-77	0,0027	0,0023	0,0035
PCB-126	0,0013	0,0014	0,0013
PCB-169	0,0003	0,0003	0,0003
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,03	0,03	0,04
PCB 114	0,001	0,002	0,002
PCB 118	0,05	0,05	0,07
PCB 123	0,002	0,002	0,002
PCB 156	0,02	0,02	0,02
PCB 157	0,004	0,005	0,00
PCB 167	0,01	0,01	0,01
PCB 189	0,003	0,003	0,002
Indicator PCBs			
PCB 28	0,02	0,02	0,02
PCB 52	0,03	0,02	0,02
PCB 101	0,04	0,04	0,04
PCB 138	0,14	0,16	0,14
PCB 153	0,18	0,20	0,17
PCB 180	0,12	0,13	0,12
Σ Indicator PCBs	0,53	0,56	0,51
Σ Congeners PCBs(*)	0,60	0,64	0,61
(*) : Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,10	0,09	0,10
TETRA - CB	0,22	0,20	0,20
PENTA - CB	0,25	0,26	0,30
ESA - CB	0,57	0,61	0,59
EPTA - CB	0,24	0,27	0,24
Σ Chlorinated Class PCBs	1,39	1,43	1,43
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,16	0,17	0,15
2005 WHO-TEQ	0,15	0,16	0,14
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,16	0,17	0,15
2005 WHO-TEQ	0,15	0,16	0,14
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,16	0,17	0,15
2005 WHO-TEQ	0,15	0,16	0,14

Pool Lab. Code:	OCP-014-035-030414-12	OCP-014-036-030414-13	OCP-014-037-030414-14
Sampling code:	IT1 / IT4 / IT7	IT2 / IT5 / IT8	IT3 / IT6 / IT9
Location:	Broni (PV)	Broni (PV)	Broni (PV)
Source:	Cementificio - 500 m	Cementificio - 1000 m	Cementificio - 1500 m
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	22-May-14	22-May-14	22-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,057	0,062	0,106
HCBz	0,303	0,226	0,835
a-HCH	0,004	0,006	0,005
b-HCH	0,006	0,007	0,005
g-HCH	0,083	0,052	0,068
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,092	0,065	0,078
trans-chlordane	0,005	0,029	0,054
cis-chlordane	0,003	0,009	0,016
Sum-Chlordane	0,008	0,038	0,070
Oxychlordane	<0,001	0,010	0,018
Aldrin	0,014	0,003	0,227
Dieldrin	0,032	0,022	0,522
Endrin	<0,002	0,002	0,009
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,046	0,027	0,758
op-DDE	0,015	0,011	0,037
pp-DDE	0,197	0,168	1,022
op-DDD	0,006	0,006	0,017
pp-DDD	0,030	0,021	0,097
op-DDT	0,038	0,029	0,153
pp-DDT	0,194	0,177	0,757
Sum-DDT total	0,480	0,412	2,083
Heptachlor	<0,0008	0,008	0,012
Heptachlor-exo-epoxide	0,003	0,039	0,044
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoixides	0,003	0,039	0,044
trans-nonachlor	0,010	0,080	0,149
cis-nonachlor	0,016	0,021	0,015
Sum-nonachlor	0,026	0,100	0,164
Endosulfane-alpha	<0,015	0,032	<0,015
Endosulfane-beta	<0,001	0,013	0,024
Sum-Endosulfanes	---	0,046	0,024
Endosulfane-sulphate	0,002	0,009	0,001
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,002	0,001

Pool Lab. Code:	BR-14-035-030414-12	BR-14-036-030414-13	BR-14-037-030414-14
Sampling code:	IT1 / IT4 / IT7	IT2 / IT5 / IT8	IT3 / IT6 / IT9
Location:	Broni (PV)	Broni (PV)	Broni (PV)
Source:	Cementificio - 500 m	Cementificio - 1000 m	Cementificio - 1500 m
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	10-Jul-14	10-Jul-14	10-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,009	0,012	0,013
BDE-99	0,009	0,012	0,012
BDE-100	0,003	0,003	0,004
BDE-153	0,002	0,002	0,002
BDE-154	0,002	0,002	0,002
BDE-183	0,002	0,002	0,002
BDE-209	0,155	0,217	0,163
Total WFD PBDE	0,025	0,032	0,033
Total OCTA Formulated	0,002	0,002	0,002
Total DECA Formulated	0,155	0,217	0,163

APPENDICE E: Risultati Fonderia (Darfo Boario Terme, BG)

Pool Lab. Code:	DP-14-018-030414-6	DP-14-019-030414-7	DP-14-020-030414-8
Sampling code:	F1	F2	F3
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	24-Jun-14	24-Jun-14	24-Jun-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,04	0,05	0,07
12378-PeCDD	0,08	0,11	0,09
123478-HxCDD	0,15	0,13	0,13
123678-HxCDD	0,41	0,31	0,58
123789-HxCDD	0,22	0,22	0,24
1234678-HpCDD	7,03	4,24	8,59
OCDD	50,51	18,29	54,80
2378-TCDF	0,51	0,91	0,78
12378-PeCDF	0,36	0,55	0,47
23478-PeCDF	0,44	0,62	0,53
123478-HxCDF	0,67	0,85	0,70
123678-HxCDF	0,42	0,60	0,48
234678-HxCDF	0,58	0,82	0,64
123789-HxCDF	0,15	0,20	0,17
1234678-HpCDF	4,06	3,78	4,06
1234789-HpCDF	0,38	0,48	0,40
OCDF	6,28	5,15	5,71
Upper-bound			
I-TEQ	0,81	0,96	0,97
1998 WHO-TEQ	0,80	1,00	0,96
2005 WHO-TEQ	0,71	0,86	0,85
Middle-bound			
I-TEQ	0,81	0,96	0,97
1998 WHO-TEQ	0,80	1,00	0,96
2005 WHO-TEQ	0,71	0,86	0,85
Lower-bound			
I-TEQ	0,81	0,96	0,97
1998 WHO-TEQ	0,80	1,00	0,96
2005 WHO-TEQ	0,71	0,86	0,85
Total PCDD/Fs			
TCDD	1,07	1,88	2,11
PeCDD	1,50	2,36	2,14
HxCDD	3,87	3,66	4,20
HpCDD	12,58	7,17	14,42
OCDD	50,51	18,29	54,80
TCDF	4,24	8,29	7,36
PeCDF	6,57	8,49	7,53
HxCDF	7,13	7,25	7,23
HpCDF	6,59	5,74	7,23
OCDF	6,28	5,15	5,71
Total PCDDs	69,53	33,36	77,68
Total PCDFs	30,80	34,91	35,07
Total PCDD/Fs	100,33	68,27	112,74

Pool Lab. Code:	DP-14-021-030414-9	DP-14-022-080414-1	DP-14-023-080414-2
Sampling code:	F4	F5	F6
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	24-Jun-14	7-Jul-14	7-Jul-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,06	0,09	0,02
12378-PeCDD	0,15	0,10	0,05
123478-HxCDD	0,29	0,16	0,07
123678-HxCDD	1,84	0,42	0,13
123789-HxCDD	0,60	0,29	0,10
1234678-HpCDD	42,91	6,07	1,70
OCDD	403,63	26,96	7,38
2378-TCDF	0,71	0,77	0,48
12378-PeCDF	0,52	0,57	0,25
23478-PeCDF	0,64	0,67	0,32
123478-HxCDF	1,09	1,02	0,39
123678-HxCDF	0,75	0,67	0,29
234678-HxCDF	1,05	0,85	0,36
123789-HxCDF	0,27	0,22	0,10
1234678-HpCDF	9,27	5,77	1,95
1234789-HpCDF	1,14	0,56	0,22
OCDF	18,53	8,94	2,52
Upper-bound			
I-TEQ	2,10	1,10	0,46
1998 WHO-TEQ	1,79	1,12	0,47
2005 WHO-TEQ	1,74	0,98	0,41
Middle-bound			
I-TEQ	2,10	1,10	0,46
1998 WHO-TEQ	1,79	1,12	0,47
2005 WHO-TEQ	1,74	0,98	0,41
Lower-bound			
I-TEQ	2,10	1,10	0,46
1998 WHO-TEQ	1,79	1,12	0,47
2005 WHO-TEQ	1,74	0,98	0,41
Total PCDD/Fs			
TCDD	1,98	1,63	1,11
PeCDD	2,61	2,39	1,28
HxCDD	10,37	4,25	2,37
HpCDD	73,80	9,93	4,25
OCDD	403,63	26,96	7,38
TCDF	6,44	6,31	4,16
PeCDF	9,05	8,56	4,68
HxCDF	13,97	8,59	3,37
HpCDF	21,50	9,65	2,81
OCDF	18,53	8,94	2,52
Total PCDDs	492,39	45,17	16,39
Total PCDFs	69,50	42,04	17,54
Total PCDD/Fs	561,89	87,21	33,93

Pool Lab. Code:	DP-14-024-080414-3	DP-14-025-080414-4
Sampling code:	F7	F8
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	7-Jul-14	7-Jul-14

Concentration:	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs		
2378-TCDD	0,02	0,10
12378-PeCDD	0,05	0,14
123478-HxCDD	0,07	0,23
123678-HxCDD	0,16	1,31
123789-HxCDD	0,12	0,46
1234678-HpCDD	2,12	17,41
OCDD	9,82	133,75
2378-TCDF	0,43	0,90
12378-PeCDF	0,33	0,57
23478-PeCDF	0,33	0,73
123478-HxCDF	0,54	1,02
123678-HxCDF	0,34	0,72
234678-HxCDF	0,42	0,97
123789-HxCDF	0,13	0,23
1234678-HpCDF	2,50	7,47
1234789-HpCDF	0,30	0,69
OCDF	2,96	18,76

Upper-bound		
I-TEQ	0,51	1,56
1998 WHO-TEQ	0,52	1,50
2005 WHO-TEQ	0,46	1,37

Middle-bound		
I-TEQ	0,51	1,56
1998 WHO-TEQ	0,52	1,50
2005 WHO-TEQ	0,46	1,37

Lower-bound		
I-TEQ	0,51	1,56
1998 WHO-TEQ	0,52	1,50
2005 WHO-TEQ	0,46	1,37

Total PCDD/Fs		
TCDD	1,59	2,13
PeCDD	1,55	2,69
HxCDD	2,19	7,78
HpCDD	3,91	27,06
OCDD	9,82	133,75
TCDF	5,02	7,19
PeCDF	5,27	10,09
HxCDF	4,22	11,50
HpCDF	3,64	15,63
OCDF	2,96	18,76
Total PCDDs	19,06	173,41
Total PCDFs	21,11	63,17
Total PCDD/Fs	40,17	236,58

Pool Lab. Code:	DP-14-018-030414-6	DP-14-019-030414-7	DP-14-020-030414-8
Sampling code:	F1	F2	F3
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	24-Jun-14	24-Jun-14	24-Jun-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0002	0,0007	0,0004
PCB-77	0,0036	0,0098	0,0063
PCB-126	0,0029	0,0054	0,0037
PCB-169	0,0010	0,0010	0,0008
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,03	0,10	0,05
PCB 114	0,001	0,006	0,002
PCB 118	0,07	0,18	0,13
PCB 123	0,005	0,010	0,006
PCB 156	0,03	0,08	0,05
PCB 157	0,01	0,02	0,01
PCB 167	0,03	0,05	0,03
PCB 189	0,007	0,010	0,008
Indicator PCBs			
PCB 28	0,05	0,04	0,03
PCB 52	0,05	0,05	0,04
PCB 101	0,06	0,08	0,08
PCB 138	0,32	0,55	0,40
PCB 153	0,37	0,71	0,51
PCB 180	0,23	0,40	0,27
Σ Indicator PCBs	1,07	1,84	1,32
Σ Congeners PCBs(*)	1,18	2,12	1,51
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,20	0,19	0,11
TETRA - CB	0,41	0,42	0,36
PENTA - CB	0,39	0,71	0,55
ESA - CB	1,22	1,89	1,59
EPTA - CB	0,48	0,96	0,59
Σ Chlorinated Class PCBs	2,70	4,17	3,20
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,34	0,64	0,43
2005 WHO-TEQ	0,33	0,58	0,40
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,34	0,64	0,43
2005 WHO-TEQ	0,33	0,58	0,40
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,34	0,64	0,43
2005 WHO-TEQ	0,33	0,58	0,40

Pool Lab. Code:	DP-14-021-030414-9	DP-14-022-080414-1	DP-14-023-080414-2
Sampling code:	F4	F5	F6
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	24-Jun-14	7-Jul-14	7-Jul-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
<i>Dioxin-Like PCBs</i>			
<i>Non-ortho-substituted PCBs</i>			
PCB-81	0,0003	0,0003	0,0002
PCB-77	0,0066	0,0044	0,0035
PCB-126	0,0040	0,0044	0,0025
PCB-169	0,0011	0,0016	0,0007
<i>Mono-ortho-substituted PCBs</i>			
PCB 105	0,04	0,05	0,02
PCB 114	0,001	0,001	0,001
PCB 118	0,12	0,08	0,07
PCB 123	0,007	0,007	0,003
PCB 156	0,05	0,06	0,04
PCB 157	0,02	0,02	0,01
PCB 167	0,04	0,04	0,02
PCB 189	0,009	0,011	0,006
<i>Indicator PCBs</i>			
PCB 28	0,04	0,04	0,03
PCB 52	0,05	0,04	0,03
PCB 101	0,07	0,07	0,05
PCB 138	0,50	0,56	0,29
PCB 153	0,61	0,77	0,37
PCB 180	0,31	0,43	0,22
Σ Indicator PCBs	1,57	1,91	0,98
Σ Congeners PCBs(*)	1,75	2,05	1,09
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
<i>Total PCBs for Chlorinated Class</i>			
TRI - CB	0,19	0,20	0,15
TETRA - CB	0,45	0,35	0,30
PENTA - CB	0,51	0,50	0,33
ESA - CB	1,82	2,12	1,05
EPTA - CB	0,68	1,00	0,46
Σ Chlorinated Class PCBs	3,65	4,16	2,29
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
<i>PCBs in TEQ</i>			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,46	0,51	0,29
2005 WHO-TEQ	0,44	0,50	0,28
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,46	0,51	0,29
2005 WHO-TEQ	0,44	0,50	0,28
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,46	0,51	0,29
2005 WHO-TEQ	0,44	0,50	0,28

Pool Lab. Code:	DP-14-024-080414-3	DP-14-025-080414-4
Sampling code:	F7	F8
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	7-Jul-14	7-Jul-14
Concentration:	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs		
Non-ortho-substituted PCBs		
PCB-81	0,0004	0,0005
PCB-77	0,0070	0,0101
PCB-126	0,0022	0,0054
PCB-169	0,0006	0,0013
Mono-ortho-substituted PCBs		
PCB 105	0,04	0,10
PCB 114	0,002	0,002
PCB 118	0,09	0,20
PCB 123	0,005	0,009
PCB 156	0,04	0,08
PCB 157	0,01	0,02
PCB 167	0,03	0,05
PCB 189	0,006	0,015
Indicator PCBs		
EC-6		
PCB 28	0,05	0,06
PCB 52	0,05	0,07
PCB 101	0,06	0,13
PCB 138	0,32	0,72
PCB 153	0,43	0,97
PCB 180	0,26	0,66
Σ Indicator PCBs	1,17	2,60
Σ Congeners PCBs(*)	1,31	2,90
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.		
Total PCBs for Chlorinated Class		
TRI - CB	0,20	0,29
TETRA - CB	0,41	0,56
PENTA - CB	0,44	0,92
ESA - CB	1,25	2,90
EPTA - CB	0,52	1,42
Σ Chlorinated Class PCBs	2,82	6,09
Concentration:	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ		
Upper-bound		
1998 WHO-TEQ	0,27	0,64
2005 WHO-TEQ	0,25	0,60
Middle-bound		
1998 WHO-TEQ	0,27	0,64
2005 WHO-TEQ	0,25	0,60
Lower-bound		
1998 WHO-TEQ	0,27	0,64
2005 WHO-TEQ	0,25	0,60

Pool Lab. Code:	OCP-014-018-030414-6	OCP-014-019-030414-7	OCP-014-020-030414-8
Sampling code:	F1	F2	F3
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	22-May-14	22-May-14	22-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,080	0,067	0,040
HCBz	0,088	0,073	0,060
a-HCH	0,004	0,006	0,004
b-HCH	0,005	0,004	0,004
g-HCH	0,055	0,045	0,055
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,064	0,055	0,063
trans-chlordane	0,004	0,005	0,005
cis-chlordane	0,003	0,003	0,003
Sum-Chlordane	0,007	0,008	0,008
Oxychlordane	0,002	<0,001	<0,001
Aldrin	0,002	<0,001	<0,001
Dieldrin	0,027	0,022	0,021
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,029	0,022	0,021
op-DDE	0,010	0,012	0,011
pp-DDE	0,055	0,156	0,248
op-DDD	0,006	0,006	0,006
pp-DDD	0,010	0,023	0,021
op-DDT	0,032	0,057	0,038
pp-DDT	0,062	0,174	0,191
Sum-DDT total	0,175	0,429	0,516
Heptachlor	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,002	0,002	0,003
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,002	0,002	0,003
trans-nonachlor	0,004	0,004	0,007
cis-nonachlor	0,015	0,013	0,015
Sum-nonachlor	0,019	0,017	0,022
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	<0,001	<0,001	<0,001
Sum-Endosulfanes	---	---	---
Endosulfane-sulphate	0,001	0,001	0,001
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,003	0,002

Pool Lab. Code:	OCP-014-021-030414-9	OCP-14-022-080414-1	OCP-14-023-080414-2
Sampling code:	F4	F5	F6
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	22-May-14	23-May-14	23-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,057	0,076	0,044
HCBz	0,048	0,078	0,047
a-HCH	0,004	0,006	0,005
b-HCH	0,005	0,004	0,006
g-HCH	0,064	0,059	0,038
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,073	0,069	0,050
trans-chlordane	0,004	0,004	0,003
cis-chlordane	0,003	0,002	0,002
Sum-Chlordane	0,007	0,007	0,005
Oxychlordane	<0,001	<0,001	<0,001
Aldrin	<0,001	<0,001	<0,001
Dieldrin	0,021	0,019	0,017
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,021	0,019	0,017
op-DDE	0,015	0,005	0,002
pp-DDE	0,158	0,097	0,057
op-DDD	0,016	0,004	<0,0008
pp-DDD	0,043	0,011	0,009
op-DDT	0,055	0,022	0,016
pp-DDT	0,143	0,070	0,041
Sum-DDT total	0,429	0,208	0,125
Heptachlor	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,002	0,002	0,001
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,002	0,002	0,001
trans-nonachlor	0,004	0,007	0,004
cis-nonachlor	0,014	0,015	0,015
Sum-nonachlor	0,018	0,022	0,019
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	<0,001	<0,001	<0,001
Sum-Endosulfanes	---	---	---
Endosulfane-sulphate	0,001	0,001	<0,0005
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,002	0,001

Pool Lab. Code:	OCP-14-024-080414-3	OCP-14-025-080414-4
Sampling code:	F7	F8
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	23-May-14	23-May-14
Concentration	ng/g	ng/g
PeCBz	0,060	0,122
HCBz	0,068	0,112
a-HCH	0,005	0,007
b-HCH	0,004	0,005
g-HCH	0,046	0,071
d-HCH	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,056	0,083
trans-chlordane	0,005	0,006
cis-chlordane	0,003	0,004
Sum-Chlordane	0,007	0,011
Oxychlordane	<0,001	0,002
Aldrin	<0,001	<0,001
Dieldrin	0,016	0,022
Endrin	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,016	0,022
op-DDE	0,006	0,006
pp-DDE	0,111	0,204
op-DDD	0,011	0,007
pp-DDD	0,068	0,025
op-DDT	0,030	0,036
pp-DDT	0,082	0,170
Sum-DDT total	0,308	0,448
Heptachlor	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	<0,0005	0,006
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	---	0,006
trans-nonachlor	0,003	0,013
cis-nonachlor	0,018	0,015
Sum-nonachlor	0,021	0,027
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	<0,001	0,003
Sum-Endosulfanes	---	0,003
Endosulfane-sulphate	<0,0005	0,002
Methoxychlor	<0,02	<0,02
Mirex	0,001	0,002

Pool Lab. Code:	BR-14-018-030414-6	BR-14-019-030414-7	BR-14-020-030414-8
Sampling code:	F1	F2	F3
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	0,002	<0,001
BDE-47	0,012	0,011	0,007
BDE-99	0,013	0,008	0,006
BDE-100	0,006	0,004	0,004
BDE-153	0,018	0,003	0,003
BDE-154	0,007	0,006	0,005
BDE-183	0,113	0,005	0,005
BDE-209	0,752	0,971	0,742
Total WFD PBDE	0,055	0,034	0,025
Total OCTA Formulated	0,113	0,005	0,005
Total DECA Formulated	0,752	0,971	0,742

Pool Lab. Code:	BR-14-021-030414-9	BR-14-022-080414-1	BR-14-023-080414-2
Sampling code:	F4	F5	F6
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	10-Jul-14	10-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,011	0,011	0,006
BDE-99	0,012	0,014	0,006
BDE-100	0,005	0,006	0,003
BDE-153	0,006	0,004	0,002
BDE-154	0,004	0,006	0,003
BDE-183	0,012	0,007	0,006
BDE-209	0,798	0,991	1,912
Total WFD PBDE	0,038	0,041	0,021
Total OCTA Formulated	0,012	0,007	0,006
Total DECA Formulated	0,798	0,991	1,912

Pool Lab. Code:	BR-14-024-080414-3	BR-14-025-080414-4
Sampling code:	F7	F8
Location:	Darfo Boario Terme	Darfo Boario Terme
Source:	Fonderia	Fonderia
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	10-Jul-14	10-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001
BDE-47	0,007	0,014
BDE-99	0,007	0,017
BDE-100	0,003	0,009
BDE-153	0,004	0,005
BDE-154	0,004	0,006
BDE-183	0,023	0,006
BDE-209	0,442	0,790
Total WFD PBDE	0,025	0,050
Total OCTA Formulated	0,023	0,006
Total DECA Formulated	0,442	0,790

APPENDICE F: Risultati Plume di Cromo esavalente (Treviglio, BG)

Pool Lab. Code:	DP-13-026-010414-1	DP-13-027-010414-2	DP-13-028-010414-3
Sampling code:	CR1	CR2	CR3
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	20-Jun-14	20-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,11	1,89	0,11
12378-PeCDD	0,20	5,26	0,32
123478-HxCDD	0,26	4,03	0,39
123678-HxCDD	0,76	8,47	0,76
123789-HxCDD	0,52	7,69	0,62
1234678-HpCDD	14,63	78,44	7,20
OCDD	130,93	235,07	22,34
2378-TCDF	0,96	13,45	0,90
12378-PeCDF	0,70	12,52	0,97
23478-PeCDF	1,10	20,34	1,51
123478-HxCDF	1,46	22,08	2,16
123678-HxCDF	0,96	18,53	1,85
234678-HxCDF	1,33	25,48	2,63
123789-HxCDF	0,30	4,82	0,52
1234678-HpCDF	7,93	85,48	10,96
1234789-HpCDF	0,90	7,07	1,21
OCDF	17,36	47,75	11,34
Upper-bound			
I-TEQ	1,83	27,76	2,29
1998 WHO-TEQ	1,80	30,14	2,41
2005 WHO-TEQ	1,59	25,87	2,10
Middle-bound			
I-TEQ	1,83	27,76	2,29
1998 WHO-TEQ	1,80	30,14	2,41
2005 WHO-TEQ	1,59	25,87	2,10
Lower-bound			
I-TEQ	1,83	27,76	2,29
1998 WHO-TEQ	1,80	30,14	2,41
2005 WHO-TEQ	1,59	25,87	2,10
Total PCDD/Fs			
TCDD	3,85	42,03	3,78
PeCDD	4,70	64,33	6,46
HxCDD	7,25	93,44	10,80
HpCDD	24,76	145,95	14,00
OCDD	130,93	235,07	22,34
TCDF	11,36	292,66	14,10
PeCDF	14,38	283,64	20,12
HxCDF	11,51	203,06	20,40
HpCDF	12,95	112,87	15,40
OCDF	17,36	47,75	11,34
Total PCDDs	171,48	580,82	57,37
Total PCDFs	67,56	939,97	81,36
Total PCDD/Fs	239,04	1520,79	138,73

Pool Lab. Code:	DP-13-029-010414-4	DP-13-030-010414-5	DP-13-031-010414-6
Sampling code:	CR4	CR5	CR6
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	20-Jun-14	20-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,09	0,25	0,16
12378-PeCDD	0,15	0,38	0,25
123478-HxCDD	0,22	0,53	0,36
123678-HxCDD	0,53	1,45	0,80
123789-HxCDD	0,38	1,13	0,61
1234678-HpCDD	7,65	22,72	11,70
OCDD	43,39	74,16	51,95
2378-TCDF	0,78	2,11	1,28
12378-PeCDF	0,64	1,34	1,01
23478-PeCDF	0,77	1,53	1,15
123478-HxCDF	1,22	2,44	1,90
123678-HxCDF	0,83	1,87	1,38
234678-HxCDF	1,19	2,35	1,84
123789-HxCDF	0,30	0,57	0,46
1234678-HpCDF	6,49	12,94	10,46
1234789-HpCDF	0,73	1,67	1,25
OCDF	10,17	20,79	17,07
Upper-bound			
I-TEQ	1,33	2,98	2,08
1998 WHO-TEQ	1,36	3,09	2,14
2005 WHO-TEQ	1,20	2,77	1,90
Middle-bound			
I-TEQ	1,33	2,98	2,08
1998 WHO-TEQ	1,36	3,09	2,14
2005 WHO-TEQ	1,20	2,77	1,90
Lower-bound			
I-TEQ	1,33	2,98	2,08
1998 WHO-TEQ	1,36	3,09	2,14
2005 WHO-TEQ	1,20	2,77	1,90
Total PCDD/Fs			
TCDD	3,68	6,59	4,86
PeCDD	4,32	8,14	5,69
HxCDD	6,39	15,18	9,94
HpCDD	13,87	38,19	20,44
OCDD	43,39	74,16	51,95
TCDF	9,45	18,55	12,25
PeCDF	11,48	19,42	15,66
HxCDF	10,49	19,84	16,20
HpCDF	9,80	18,36	15,12
OCDF	10,17	20,79	17,07
Total PCDDs	71,66	142,26	92,88
Total PCDFs	51,40	96,96	76,29
Total PCDD/Fs	123,06	239,21	169,17

Pool Lab. Code:	DP-13-032-010414-7	DP-13-033-010414-8	DP-13-034-010414-9
Sampling code:	CR7	CR8	CR9
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	20-Jun-14	20-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,16	0,27	0,14
12378-PeCDD	0,19	0,50	0,23
123478-HxCDD	0,26	0,57	0,32
123678-HxCDD	0,65	1,75	0,80
123789-HxCDD	0,49	1,18	0,58
1234678-HpCDD	10,74	34,53	13,47
OCDD	71,17	225,90	70,47
2378-TCDF	1,05	2,67	1,44
12378-PeCDF	0,70	1,94	0,89
23478-PeCDF	0,87	2,45	1,13
123478-HxCDF	1,39	3,62	1,66
123678-HxCDF	0,98	2,59	1,15
234678-HxCDF	1,34	3,83	1,53
123789-HxCDF	0,36	0,86	0,41
1234678-HpCDF	7,05	22,00	8,25
1234789-HpCDF	0,88	2,22	1,10
OCDF	12,97	59,71	19,71
Upper-bound			
I-TEQ	1,65	4,42	1,97
1998 WHO-TEQ	1,67	4,42	2,01
2005 WHO-TEQ	1,50	3,94	1,79
Middle-bound			
I-TEQ	1,65	4,42	1,97
1998 WHO-TEQ	1,67	4,42	2,01
2005 WHO-TEQ	1,50	3,94	1,79
Lower-bound			
I-TEQ	1,65	4,42	1,97
1998 WHO-TEQ	1,67	4,42	2,01
2005 WHO-TEQ	1,50	3,94	1,79
Total PCDD/Fs			
TCDD	4,77	12,05	5,33
PeCDD	5,24	12,64	5,67
HxCDD	7,36	21,01	8,76
HpCDD	19,62	62,52	22,92
OCDD	71,17	225,90	70,47
TCDF	12,22	31,81	14,39
PeCDF	17,03	35,63	15,09
HxCDF	12,08	38,57	13,18
HpCDF	10,92	33,59	11,91
OCDF	12,97	59,71	19,71
Total PCDDs	108,16	334,12	113,15
Total PCDFs	65,21	199,30	74,28
Total PCDD/Fs	173,37	533,42	187,43

Pool Lab. Code:	DP-13-035-010414-10B	DP-13-036-010414-11	DP-13-037-010414-12
Sampling code:	CR10	CR11	CR12
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	25-Jun-14	20-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,13	0,22	0,15
12378-PeCDD	0,23	0,33	0,21
123478-HxCDD	0,34	0,42	0,22
123678-HxCDD	1,24	1,33	0,56
123789-HxCDD	0,74	1,76	0,47
1234678-HpCDD	45,50	25,15	11,07
OCDD	406,86	226,38	53,65
2378-TCDF	1,02	1,78	0,85
12378-PeCDF	0,71	1,38	0,60
23478-PeCDF	0,85	1,35	0,68
123478-HxCDF	1,55	1,96	1,08
123678-HxCDF	1,23	2,01	0,88
234678-HxCDF	2,15	1,68	1,17
123789-HxCDF	0,47	0,44	0,29
1234678-HpCDF	15,83	10,23	7,52
1234789-HpCDF	1,50	2,34	0,80
OCDF	44,80	32,85	12,80
Upper-bound			
I-TEQ	2,66	2,91	1,44
1998 WHO-TEQ	2,37	2,84	1,49
2005 WHO-TEQ	2,27	2,59	1,35
Middle-bound			
I-TEQ	2,66	2,91	1,44
1998 WHO-TEQ	2,37	2,84	1,49
2005 WHO-TEQ	2,27	2,59	1,35
Lower-bound			
I-TEQ	2,66	2,91	1,44
1998 WHO-TEQ	2,37	2,84	1,49
2005 WHO-TEQ	2,27	2,59	1,35
Total PCDD/Fs			
TCDD	5,05	7,35	2,57
PeCDD	4,96	7,66	3,21
HxCDD	11,31	24,64	6,92
HpCDD	126,72	41,25	19,33
OCDD	406,86	226,38	53,65
TCDF	12,92	19,41	6,88
PeCDF	14,42	17,61	9,20
HxCDF	16,81	19,93	10,08
HpCDF	28,67	17,66	11,47
OCDF	44,80	32,85	12,80
Total PCDDs	554,90	307,29	85,68
Total PCDFs	117,63	107,47	50,43
Total PCDD/Fs	672,52	414,76	136,11

Pool Lab. Code:	DP-13-038-010414-13	DP-13-039-010414-14
Sampling code:	CR13	CR14
Location:	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	20-Jun-14	24-Jun-14

Concentration:	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs		
2378-TCDD	0,20	0,15
12378-PeCDD	0,26	0,19
123478-HxCDD	0,36	0,22
123678-HxCDD	1,64	0,52
123789-HxCDD	0,84	0,44
1234678-HpCDD	43,57	8,49
OCDD	517,51	56,26
2378-TCDF	1,21	0,98
12378-PeCDF	0,87	0,75
23478-PeCDF	1,00	0,84
123478-HxCDF	1,64	1,41
123678-HxCDF	1,19	0,98
234678-HxCDF	1,74	1,28
123789-HxCDF	0,44	0,34
1234678-HpCDF	30,61	7,32
1234789-HpCDF	1,97	0,92
OCDF	101,88	16,68
Upper-bound		
I-TEQ	3,15	1,55
1998 WHO-TEQ	2,73	1,58
2005 WHO-TEQ	2,63	1,42
Middle-bound		
I-TEQ	3,15	1,55
1998 WHO-TEQ	2,73	1,58
2005 WHO-TEQ	2,63	1,42
Lower-bound		
I-TEQ	3,15	1,55
1998 WHO-TEQ	2,73	1,58
2005 WHO-TEQ	2,63	1,42
Total PCDD/Fs		
TCDD	5,94	4,54
PeCDD	5,76	4,90
HxCDD	11,81	6,79
HpCDD	85,71	15,88
OCDD	517,51	56,26
TCDF	14,82	11,23
PeCDF	16,35	12,61
HxCDF	22,73	11,49
HpCDF	59,60	11,63
OCDF	101,88	16,68
Total PCDDs	626,74	88,38
Total PCDFs	215,38	63,63
Total PCDD/Fs	842,13	152,00

Pool Lab. Code:	DP-13-026-010414-1	DP-13-027-010414-2	DP-13-028-010414-3
Sampling code:	CR1	CR2	CR3
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	20-Jun-14	20-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0011	0,0050	0,0006
PCB-77	0,0196	0,0357	0,0067
PCB-126	0,0371	0,0317	0,0052
PCB-169	0,0056	0,0079	0,0012
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,28	0,49	0,09
PCB 114	0,007	0,025	0,004
PCB 118	1,09	0,96	0,20
PCB 123	0,02	0,03	0,01
PCB 156	0,68	0,37	0,08
PCB 157	0,12	0,11	0,02
PCB 167	0,38	0,23	0,04
PCB 189	0,10	0,07	0,01
Indicator PCBs			
PCB 28	0,02	0,04	0,02
PCB 52	0,04	0,10	0,03
PCB 101	0,56	0,56	0,07
PCB 138	6,46	3,58	0,51
PCB 153	7,48	4,23	0,76
PCB 180	3,69	3,25	0,31
Σ Indicator PCBs	18,25	11,76	1,70
Σ Congeners PCBs(*)	20,09	13,17	1,99
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,10	0,21	0,09
TETRA - CB	0,42	1,03	0,28
PENTA - CB	3,55	5,24	0,70
ESA - CB	21,80	16,20	1,95
EPTA - CB	7,97	7,19	0,62
Σ Chlorinated Class PCBs	33,85	29,87	3,64
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	4,32	3,67	0,61
2005 WHO-TEQ	3,96	3,48	0,57
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	4,32	3,67	0,61
2005 WHO-TEQ	3,96	3,48	0,57
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	4,32	3,67	0,61
2005 WHO-TEQ	3,96	3,48	0,57

Pool Lab. Code:	DP-13-029-010414-4	DP-13-030-010414-5	DP-13-031-010414-6
Sampling code:	CR4	CR5	CR6
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	20-Jun-14	20-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0003	0,0014	0,0007
PCB-77	0,0054	0,0210	0,0078
PCB-126	0,0032	0,0095	0,0051
PCB-169	0,0008	0,0020	0,0013
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,09	0,27	0,11
PCB 114	0,001	0,012	0,003
PCB 118	0,15	0,48	0,17
PCB 123	0,01	0,02	0,01
PCB 156	0,05	0,16	0,08
PCB 157	0,02	0,04	0,03
PCB 167	0,03	0,08	0,05
PCB 189	0,01	0,02	0,01
Indicator PCBs			
PCB 28	0,02	0,04	0,03
PCB 52	0,02	0,05	0,03
PCB 101	0,07	0,15	0,08
PCB 138	0,42	0,81	0,60
PCB 153	0,53	1,01	0,75
PCB 180	0,25	0,60	0,45
Σ Indicator PCBs	1,33	2,65	1,95
Σ Congeners PCBs(*)	1,54	3,32	2,21
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,09	0,18	0,13
TETRA - CB	0,24	0,56	0,37
PENTA - CB	0,60	1,56	0,71
ESA - CB	1,57	2,99	2,26
EPTA - CB	0,56	1,20	0,97
Σ Chlorinated Class PCBs	3,06	6,49	4,44
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,38	1,15	0,61
2005 WHO-TEQ	0,35	1,04	0,56
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,38	1,15	0,61
2005 WHO-TEQ	0,35	1,04	0,56
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,38	1,15	0,61
2005 WHO-TEQ	0,35	1,04	0,56

Pool Lab. Code:	DP-13-032-010414-7	DP-13-033-010414-8	DP-13-034-010414-9
Sampling code:	CR7	CR8	CR9
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	20-Jun-14	20-Jun-14	20-Jun-14
Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,0012	0,0013	0,0007
PCB-77	0,0204	0,0157	0,0087
PCB-126	0,0070	0,0094	0,0045
PCB-169	0,0013	0,0021	0,0009
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	0,25	0,31	0,13
PCB 114	0,009	0,008	0,004
PCB 118	0,46	0,60	0,23
PCB 123	0,01	0,02	0,01
PCB 156	0,17	0,18	0,07
PCB 157	0,04	0,04	0,02
PCB 167	0,09	0,10	0,04
PCB 189	0,03	0,02	0,01
Indicator PCBs			
PCB 28	0,04	0,03	0,02
PCB 52	0,05	0,07	0,03
PCB 101	0,28	0,33	0,08
PCB 138	1,38	1,27	0,50
PCB 153	1,59	1,53	0,62
PCB 180	0,93	0,76	0,30
Σ Indicator PCBs	4,27	3,98	1,55
Σ Congeners PCBs(*)	4,93	4,79	1,87
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.			
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,16	0,19	0,14
TETRA - CB	0,50	0,68	0,33
PENTA - CB	2,07	2,25	0,74
ESA - CB	5,78	4,87	1,77
EPTA - CB	2,18	1,73	0,69
Σ Chlorinated Class PCBs	10,69	9,73	3,66
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	0,90	1,17	0,54
2005 WHO-TEQ	0,78	1,04	0,49
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	0,90	1,17	0,54
2005 WHO-TEQ	0,78	1,04	0,49
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	0,90	1,17	0,54
2005 WHO-TEQ	0,78	1,04	0,49

Pool Lab. Code:	DP-13-035-010414-10B	DP-13-036-010414-11	DP-13-037-010414-12
Sampling code:	CR10	CR11	CR12
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	25-Jun-14	20-Jun-14	20-Jun-14

Concentration:	ng/g	ng/g	ng/g
-----------------------	-------------	-------------	-------------

Dioxin-Like PCBs

Non-ortho-substituted PCBs

PCB-81	0,0006	0,0013	0,0004
PCB-77	0,0199	0,0165	0,0044
PCB-126	0,0044	0,0060	0,0034
PCB-169	0,0011	0,0013	0,0009

Mono-ortho-substituted PCBs

PCB 105	0,15	0,25	0,05
PCB 114	0,002	0,010	0,001
PCB 118	0,32	0,43	0,09
PCB 123	0,01	0,01	0,00
PCB 156	0,07	0,09	0,04
PCB 157	0,02	0,02	0,01
PCB 167	0,04	0,05	0,02
PCB 189	0,01	0,01	0,01

Indicator PCBs

EC-6			
PCB 28	0,03	0,03	0,01
PCB 52	0,07	0,04	0,02
PCB 101	0,20	0,11	0,03
PCB 138	0,56	0,58	0,22
PCB 153	0,71	0,74	0,21
PCB 180	0,41	0,38	0,17
Σ Indicator PCBs	1,98	1,87	0,67
Σ Congeners PCBs(*)	2,39	2,42	0,81

(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.

Total PCBs for Chlorinated Class

TRI - CB	0,15	0,13	0,08
TETRA - CB	0,56	0,46	0,19
PENTA - CB	1,30	1,29	0,32
ESA - CB	2,39	2,23	0,75
EPTA - CB	0,90	0,83	0,36
Σ Chlorinated Class PCBs	5,30	4,95	1,70

Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
-----------------------	-------------	-------------	-------------

PCBs in TEQ

Upper-bound

1998 WHO-TEQ	0,54	0,75	0,39
2005 WHO-TEQ	0,49	0,67	0,38

Middle-bound

1998 WHO-TEQ	0,54	0,75	0,39
2005 WHO-TEQ	0,49	0,67	0,38

Lower-bound

1998 WHO-TEQ	0,54	0,75	0,39
2005 WHO-TEQ	0,49	0,67	0,38

Pool Lab. Code:	DP-13-038-010414-13	DP-13-039-010414-14
Sampling code:	CR13	CR14
Location:	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	20-Jun-14	24-Jun-14

Concentration:	ng/g	ng/g
-----------------------	-------------	-------------

Dioxin-Like PCBs

Non-ortho-substituted PCBs

PCB-81	0,0004	0,0006
PCB-77	0,0101	0,0071
PCB-126	0,0038	0,0046
PCB-169	0,0011	0,0009

Mono-ortho-substituted PCBs

PCB 105	0,12	0,17
PCB 114	0,001	0,005
PCB 118	0,22	0,35
PCB 123	0,01	0,01
PCB 156	0,05	0,10
PCB 157	0,01	0,03
PCB 167	0,03	0,06
PCB 189	0,01	0,01

Indicator PCBs

PCB 28	0,02	0,02
PCB 52	0,04	0,04
PCB 101	0,12	0,13
PCB 138	0,42	0,76
PCB 153	0,54	0,92
PCB 180	0,24	0,31
Σ Indicator PCBs	1,39	2,18
Σ Congeners PCBs(*)	1,67	2,65

(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.

Total PCBs for Chlorinated Class

TRI - CB	0,14	0,09
TETRA - CB	0,33	0,31
PENTA - CB	0,85	1,14
ESA - CB	1,81	2,74
EPTA - CB	0,55	0,78
Σ Chlorinated Class PCBs	3,69	5,06

Concentration:	pg/g	pg/g
-----------------------	-------------	-------------

PCBs in TEQ

Upper-bound

1998 WHO-TEQ	0,46	0,59
2005 WHO-TEQ	0,43	0,51

Middle-bound

1998 WHO-TEQ	0,46	0,59
2005 WHO-TEQ	0,43	0,51

Lower-bound

1998 WHO-TEQ	0,46	0,59
2005 WHO-TEQ	0,43	0,51

Pool Lab. Code:	OCP-13-026-010414-1	OCP-13-027-010414-2	OCP-13-028-010414-3
Sampling code:	CR1	CR2	CR3
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	21-May-14	21-May-14	21-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,095	0,595	0,098
HCBz	0,284	0,731	0,082
a-HCH	0,005	0,014	0,029
b-HCH	0,003	0,011	0,084
g-HCH	0,031	0,043	0,124
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,039	0,069	0,237
trans-chlordane	0,004	0,017	0,006
cis-chlordane	0,003	0,012	0,004
Sum-Chlordane	0,007	0,029	0,010
Oxychlordane	<0,001	0,003	0,002
Aldrin	<0,001	0,003	<0,001
Dieldrin	0,019	0,037	0,017
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,019	0,040	0,017
op-DDE	0,009	0,019	0,005
pp-DDE	0,226	2,55	0,233
op-DDD	0,005	0,075	0,010
pp-DDD	0,019	0,434	0,034
op-DDT	0,021	0,136	0,030
pp-DDT	0,220	1,66	0,11
Sum-DDT total	0,501	4,88	0,42
Heptachlor	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,006	0,010	0,003
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,006	0,010	0,003
trans-nonachlor	0,007	0,061	0,011
cis-nonachlor	0,015	0,016	0,014
Sum-nonachlor	0,022	0,077	0,025
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	<0,001	0,018	<0,001
Sum-Endosulfanes	---	0,018	---
Endosulfane-sulphate	0,001	0,002	0,001
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,004	0,002

Pool Lab. Code:	OCP-13-029-010414-4	OCP-13-030-010414-5	OCP-13-031-010414-6
Sampling code:	CR4	CR5	CR6
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	21-May-14	21-May-14	21-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,064	0,125	0,095
HCBz	0,093	0,239	0,191
a-HCH	0,004	0,007	0,006
b-HCH	0,005	0,006	0,005
g-HCH	0,044	0,043	0,057
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,054	0,056	0,069
trans-chlordane	0,004	0,005	0,006
cis-chlordane	0,003	0,003	0,003
Sum-Chlordane	0,007	0,008	0,009
Oxychlordane	0,002	0,002	0,002
Aldrin	0,002	<0,001	0,002
Dieldrin	0,018	0,019	0,026
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,021	0,019	0,028
op-DDE	0,003	0,009	0,008
pp-DDE	0,070	0,385	0,355
op-DDD	0,004	0,017	0,021
pp-DDD	0,014	0,078	0,082
op-DDT	0,024	0,042	0,064
pp-DDT	0,090	0,185	0,248
Sum-DDT total	0,206	0,717	0,779
Heptachlor	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,010	0,005	0,005
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,010	0,005	0,005
trans-nonachlor	0,008	0,006	0,011
cis-nonachlor	0,016	0,014	0,014
Sum-nonachlor	0,023	0,020	0,025
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,003	<0,001	0,003
Sum-Endosulfanes	0,003	---	0,003
Endosulfane-sulphate	0,003	0,002	0,002
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,003	0,003

Pool Lab. Code:	OCP-13-032-010414-7	OCP-13-033-010414-8	OCP-13-034-010414-9
Sampling code:	CR7	CR8	CR9
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	21-May-14	21-May-14	21-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,101	0,124	0,153
HCBz	0,355	0,574	0,445
a-HCH	0,006	0,009	0,005
b-HCH	0,005	0,005	0,012
g-HCH	0,035	0,093	0,061
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,045	0,107	0,078
trans-chlordane	0,006	0,007	0,004
cis-chlordane	0,005	0,005	0,003
Sum-Chlordane	0,011	0,012	0,007
Oxychlordane	0,003	0,003	<0,001
Aldrin	<0,001	0,002	<0,001
Dieldrin	0,025	0,021	0,015
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,025	0,023	0,015
op-DDE	0,008	0,019	0,003
pp-DDE	0,290	1,78	0,217
op-DDD	0,011	0,019	0,002
pp-DDD	0,045	0,118	0,015
op-DDT	0,024	0,111	0,019
pp-DDT	0,125	0,987	0,142
Sum-DDT total	0,503	3,04	0,399
Heptachlor	<0,0008	0,002	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,010	0,009	0,005
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,010	0,009	0,005
trans-nonachlor	0,019	0,019	0,007
cis-nonachlor	0,013	0,013	0,017
Sum-nonachlor	0,032	0,033	0,025
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,006	0,009	<0,001
Sum-Endosulfanes	0,006	0,009	---
Endosulfane-sulphate	0,003	0,002	<0,0005
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,004	0,004

Pool Lab. Code:	OCP-13-035-010414-10	OCP-13-036-010414-11	OCP-13-037-010414-12-B
Sampling code:	CR10	CR11	CR12
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	21-May-14	21-May-14	22-May-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
PeCBz	0,120	0,121	0,090
HCBz	1,022	0,775	0,215
a-HCH	0,004	0,004	0,005
b-HCH	0,004	0,006	0,004
g-HCH	0,040	0,050	0,044
d-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,048	0,060	0,053
trans-chlordane	0,004	0,005	0,005
cis-chlordane	0,003	0,003	0,003
Sum-Chlordane	0,007	0,008	0,008
Oxychlordane	0,003	0,003	0,004
Aldrin	<0,001	<0,001	<0,001
Dieldrin	0,024	0,018	0,015
Endrin	<0,002	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,024	0,018	0,015
op-DDE	0,106	0,008	0,017
pp-DDE	2,643	0,581	0,220
op-DDD	0,105	0,013	0,015
pp-DDD	0,217	0,068	0,046
op-DDT	0,305	0,047	0,051
pp-DDT	0,922	0,247	0,163
Sum-DDT total	4,296	0,965	0,513
Heptachlor	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Heptachlor-exo-epoxide	0,013	0,006	0,002
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoxydes	0,013	0,006	0,002
trans-nonachlor	0,010	0,019	0,005
cis-nonachlor	0,016	0,016	0,011
Sum-nonachlor	0,026	0,035	0,016
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	<0,001	0,006	<0,001
Sum-Endosulfanes	---	0,006	---
Endosulfane-sulphate	0,002	0,001	<0,0005
Methoxychlor	<0,02	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,002	0,001

Pool Lab. Code:	OCP-13-038-010414-13	OCP-13-039-010414-14
Sampling code:	CR13	CR14
Location:	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	21-May-14	21-May-14
Concentration	ng/g	ng/g
PeCBz	0,096	0,065
HCBz	1,422	0,726
a-HCH	0,006	0,004
b-HCH	0,010	0,004
g-HCH	0,066	0,046
d-HCH	<0,0015	<0,0015
e-HCH	<0,0015	<0,0015
Sum-HCHs	0,082	0,054
trans-chlordane	0,004	0,015
cis-chlordane	0,004	0,007
Sum-Chlordane	0,008	0,021
Oxychlordane	0,003	0,012
Aldrin	<0,001	<0,001
Dieldrin	0,015	0,014
Endrin	<0,002	<0,002
Isodrin	<0,005	<0,005
Sum-Drins	0,015	0,014
op-DDE	0,009	0,005
pp-DDE	0,469	0,215
op-DDD	0,005	0,017
pp-DDD	0,038	0,050
op-DDT	0,042	0,032
pp-DDT	0,391	0,237
Sum-DDT total	0,954	0,556
Heptachlor	0,0010	0,005
Heptachlor-exo-epoxide	0,017	0,075
Heptachlor-endo-epoxide	<0,002	<0,002
Sum-Hetachlorepoixides	0,017	0,075
trans-nonachlor	0,011	0,065
cis-nonachlor	0,049	0,016
Sum-nonachlor	0,060	0,081
Endosulfane-alpha	<0,015	<0,015
Endosulfane-beta	0,007	0,015
Sum-Endosulfanes	0,007	0,015
Endosulfane-sulphate	0,089	0,001
Methoxychlor	<0,02	<0,02
Mirex	0,002	0,002

Pool Lab. Code:	BR-13-026-010414-1	BR-13-027-010414-2	BR-13-028-010414-3
Sampling code:	CR1	CR2	CR3
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,038	0,082	0,033
BDE-99	0,051	0,131	0,066
BDE-100	0,018	0,036	0,016
BDE-153	0,015	0,037	0,022
BDE-154	0,016	0,028	0,018
BDE-183	0,023	0,074	0,033
BDE-209	2,98	12,04	6,41
Total WFD PBDE	0,139	0,313	0,155
Total OCTA Formulated	0,023	0,074	0,033
Total DECA Formulated	2,98	12,04	6,41

Pool Lab. Code:	BR-13-029-010414-4	BR-13-030-010414-5	BR-13-031-010414-6
Sampling code:	CR4	CR5	CR6
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	0,002	<0,001
BDE-47	0,017	0,075	0,033
BDE-99	0,030	0,106	0,042
BDE-100	0,010	0,040	0,014
BDE-153	0,012	0,054	0,015
BDE-154	0,010	0,074	0,020
BDE-183	0,023	0,143	0,039
BDE-209	5,99	9,27	12,69
Total WFD PBDE	0,080	0,351	0,124
Total OCTA Formulated	0,023	0,143	0,039
Total DECA Formulated	5,99	9,27	12,69

Pool Lab. Code:	BR-13-032-010414-7	BR-13-033-010414-8	BR-13-034-010414-9
Sampling code:	CR7	CR8	CR9
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	0,003	0,004	<0,001
BDE-47	0,182	0,156	0,029
BDE-99	0,365	0,332	0,034
BDE-100	0,088	0,073	0,014
BDE-153	0,079	2,483	0,025
BDE-154	0,057	1,098	0,022
BDE-183	0,098	0,971	0,073
BDE-209	18,98	71,19	3,86
Total WFD PBDE	0,773	4,145	0,124
Total OCTA Formulated	0,098	0,971	0,073
Total DECA Formulated	18,98	71,19	3,86

Pool Lab. Code:	BR-13-035-010414-10	BR-13-036-010414-11	BR-13-037-010414-12
Sampling code:	CR10	CR11	CR12
Location:	Treviglio	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001	<0,001
BDE-47	0,047	0,032	0,009
BDE-99	0,071	0,031	0,011
BDE-100	0,021	0,011	0,005
BDE-153	0,102	0,015	0,007
BDE-154	0,062	0,013	0,015
BDE-183	0,112	0,028	0,021
BDE-209	112,60	2,43	2,77
Total WFD PBDE	0,304	0,103	0,047
Total OCTA Formulated	0,112	0,028	0,021
Total DECA Formulated	112,60	2,43	2,77

Pool Lab. Code:	BR-13-038-010414-13	BR-13-039-010414-14
Sampling code:	CR13	CR14
Location:	Treviglio	Treviglio
Source:	CRVI	CRVI
Matrix:	soil	soil
Mass Analysed (g):	50	50
Data analysed:	11-Jul-14	11-Jul-14
Concentration	ng/g	ng/g
BDE-28	<0,001	<0,001
BDE-47	0,029	0,025
BDE-99	0,033	0,029
BDE-100	0,010	0,009
BDE-153	0,034	0,012
BDE-154	0,028	0,009
BDE-183	0,062	0,024
BDE-209	9,62	2,64
Total WFD PBDE	0,134	0,083
Total OCTA Formulated	0,062	0,024
Total DECA Formulated	9,62	2,64

APPENDICE G: Risultati l'area SIN Brescia agricola

Lab. Code:	DP-13-046-111113-1	DP-13-047-111113-2	DP-13-048-111113-3
Sampling Code:	S1/sin/2012	S2/sin/2012	S3/sin/2012
Province of:	Brescia	Brescia	Brescia
Type of sample:	Soil	Soil	Soil
Mass Analysed (g):	1	1	1
Data analysed:	22-Nov-13	22-Nov-13	22-Nov-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	<0,17	<0,24	3,33
12378-PeCDD	0,92	0,93	66,6
123478-HxCDD	0,86	1,40	72,7
123678-HxCDD	1,92	3,47	96
123789-HxCDD	1,20	2,11	108
1234678-HpCDD	19,2	41,2	601
OCDD	170	554	3547
2378-TCDF	34,4	58,2	532
12378-PeCDF	18,9	32,4	323
23478-PeCDF	18,4	34,9	314
123478-HxCDF	28,1	57,4	588
123678-HxCDF	8,31	12,3	116
234678-HxCDF	8,55	10,5	79,6
123789-HxCDF	4,39	11,0	118
1234678-HpCDF	33,0	43,0	494
1234789-HpCDF	9,36	19,1	240
OCDF	66,7	156	7935
Upper-bound			
I-TEQ	20,4	37,2	405
1998 WHO-TEQ	20,6	37,0	428
2005 WHO-TEQ	16,6	29,5	362
Middle-bound			
I-TEQ	20,3	37,0	405
1998 WHO-TEQ	20,6	36,9	428
2005 WHO-TEQ	16,5	29,4	362
Lower-bound			
I-TEQ	20,2	36,9	405
1998 WHO-TEQ	20,5	36,7	428
2005 WHO-TEQ	16,5	29,3	362
Total PCDD/Fs			
TCDD	4,12	10,7	806
PeCDD	8,77	21,2	2606
HxCDD	21,9	41,5	2385
HpCDD	34,9	67,7	1298
OCDD	170	554	3547
TCDF	100	197	1734
PeCDF	97,6	175	1660
HxCDF	89,0	136	1353
HpCDF	52,6	74,3	900
OCDF	66,7	156	7935
Total PCDDs	240	695	10641
Total PCDFs	406	738	13582
Total PCDD/Fs	646	1433	24224

Lab. Code:	DP-13-049-111113-4	DP-13-050-111113-6	DP-13-051-111113-7
Sampling Code:	S4/sin/2012	S5/sin/2012	S6/sin/2012
Province of:	Brescia	Brescia	Brescia
Type of sample:	Soil	Soil	Soil
Mass Analysed (g):	1	1	1
Data analysed:	23-Nov-13	23-Nov-13	23-Nov-13
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs			
2378-TCDD	0,59	0,97	<0,13
12378-PeCDD	8,62	10,9	<0,14
123478-HxCDD	7,88	10,8	0,59
123678-HxCDD	16,0	16,4	0,99
123789-HxCDD	13,2	14,5	1,00
1234678-HpCDD	248	135	12,2
OCDD	2005	1874	106
2378-TCDF	217	406	24,5
12378-PeCDF	134	235	12,6
23478-PeCDF	114	209	13,7
123478-HxCDF	202	352	21,6
123678-HxCDF	40,5	68,8	4,92
234678-HxCDF	24,6	39,5	4,24
123789-HxCDF	40,0	79,0	3,88
1234678-HpCDF	103	160	15,9
1234789-HpCDF	69,8	151	8,05
OCDF	535	991	64,2
Upper-bound			
I-TEQ	132	229	14,4
1998 WHO-TEQ	134	232	14,3
2005 WHO-TEQ	109	186	11,3
Middle-bound			
I-TEQ	132	229	14,3
1998 WHO-TEQ	134	232	14,1
2005 WHO-TEQ	109	186	11,2
Lower-bound			
I-TEQ	132	229	14,2
1998 WHO-TEQ	134	232	14,0
2005 WHO-TEQ	109	186	11,1
Total PCDD/Fs			
TCDD	74,5	90,2	2,05
PeCDD	207	247	7,37
HxCDD	253	299	12,4
HpCDD	439	265	21,6
OCDD	2005	1874	106
TCDF	694	1153	75,8
PeCDF	605	1049	68,1
HxCDF	437	726	53,5
HpCDF	220	338	29,5
OCDF	535	991	64,2
Total PCDDs	2979	2774	149,4
Total PCDFs	2491	4257	291,1
Total PCDD/Fs	5470	7031	440,5

Lab. Code:	DP-13-052-111113-8	DP-13-053-111113-9-B
Sampling Code:	S7/sin/2012	S8/sin/2012
Province of:	Brescia	Brescia
Type of sample:	Soil	Soil
Mass Analysed (g):	1	1
Data analysed:	23-Nov-13	25-Nov-13
Concentration:	pg/g	pg/g
2,3,7,8 - substituted PCDD/Fs		
2378-TCDD	<0,12	1,22
12378-PeCDD	<0,15	5,15
123478-HxCDD	0,26	5,63
123678-HxCDD	0,99	9,31
123789-HxCDD	0,52	11,2
1234678-HpCDD	12,2	147
OCDD	62,5	1993
2378-TCDF	13,1	908
12378-PeCDF	8,15	605
23478-PeCDF	8,19	472
123478-HxCDF	14,1	1098
123678-HxCDF	3,76	199
234678-HxCDF	3,96	98,5
123789-HxCDF	2,50	270
1234678-HpCDF	12,4	377
1234789-HpCDF	4,53	589
OCDF	25,4	1184
Upper-bound		
I-TEQ	9,00	544
1998 WHO-TEQ	9,00	544
2005 WHO-TEQ	7,21	438
Middle-bound		
I-TEQ	8,90	544
1998 WHO-TEQ	8,86	544
2005 WHO-TEQ	7,08	438
Lower-bound		
I-TEQ	8,81	544
1998 WHO-TEQ	8,73	544
2005 WHO-TEQ	6,94	438
Total PCDD/Fs		
TCDD	1,82	37,9
PeCDD	3,15	69,8
HxCDD	7,70	127
HpCDD	20,6	274
OCDD	62,5	1993
TCDF	45,5	2503
PeCDF	43,7	2307
HxCDF	38,9	2150
HpCDF	20,3	958
OCDF	25,4	1184
Total PCDDs	95,7	2502
Total PCDFs	174	9103
Total PCDD/Fs	269	11605

Lab. Code:	P-13-046-111113-1	P-13-047-111113-2	P-13-048-111113-3
Sampling Code:	S1/sin/2012	S2/sin/2012	S3/sin/2012
Province of:	Brescia	Brescia	Brescia
Type of sample:	Soil	Soil	Soil
Mass Analysed (g):	1	1	1
Data analysed:	13-Nov-13	13-Nov-13	13-Nov-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs			
Non-ortho-substituted PCBs			
PCB-81	0,02	0,03	0,41
PCB-77	0,22	0,66	6,74
PCB-126	0,17	0,15	0,55
PCB-169	0,04	0,03	0,09
Mono-ortho-substituted PCBs			
PCB 105	7,14	16,2	100
PCB 114	0,29	0,61	4,2
PCB 118	12,9	31,6	244
PCB 123	0,34	0,60	3,3
PCB 156	4,48	6,54	60,0
PCB 157	1,19	1,42	9,9
PCB 167	2,33	2,89	23,0
PCB 189	1,03	1,15	9,43
Indicator PCBs			
PCB 28	0,40	2,92	49,5
PCB 52	0,45	3,34	54,8
PCB 101	3,13	13,3	196
PCB 138	29,3	45,5	438
PCB 153	57,8	78,8	706
PCB 180	36,8	47,0	510
Σ Indicator PCBs	128	191	1954
Σ Congeners PCBs(*)			
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.	146	230	2265
Total PCBs for Chlorinated Class			
TRI - CB	0,99	6,61	115
TETRA - CB	6,95	79,4	592
PENTA - CB	35,0	98,1	988
ESA - CB	126	192	2033
EPTA - CB	116	150	1450
Σ Chlorinated Class PCBs	285	527	5179
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	22,8	24,3	129
2005 WHO-TEQ	19,4	17,4	71,7
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	22,8	24,3	129
2005 WHO-TEQ	19,4	17,4	71,7
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	22,8	24,3	129
2005 WHO-TEQ	19,4	17,4	71,7

Lab. Code:	P-13-049-111113-4	P-13-050-111113-6	P-13-051-111113-7
Sampling Code:	S4/sin/2012	S5/sin/2012	S6/sin/2012
Province of:	Brescia	Brescia	Brescia
Type of sample:	Soil	Soil	Soil
Mass Analysed (g):	1	1	1
Data analysed:	14-Nov-13	14-Nov-13	14-Nov-13
Concentration	ng/g	ng/g	ng/g
<i>Dioxin-Like PCBs</i>			
<i>Non-ortho-substituted PCBs</i>			
PCB-81	0,08	0,07	0,01
PCB-77	0,93	1,16	0,23
PCB-126	0,16	0,16	0,07
PCB-169	0,03	0,03	0,01
<i>Mono-ortho-substituted PCBs</i>			
PCB 105	25,1	26,4	6,01
PCB 114	1,08	1,08	0,25
PCB 118	54,0	56,8	12,8
PCB 123	0,93	0,89	0,23
PCB 156	13,9	16,9	3,1
PCB 157	2,66	3,31	0,71
PCB 167	5,93	6,43	1,43
PCB 189	2,58	3,10	0,59
<i>Indicator PCBs</i>			
PCB 28	8,12	8,69	0,92
PCB 52	10,0	12,4	1,15
PCB 101	30,1	32,9	6,16
PCB 138	86,7	84,9	21,3
PCB 153	140	127	40,5
PCB 180	111	117	24,7
Σ Indicator PCBs	386	382	94,7
<i>Σ Congeners PCBs(*)</i>			
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.	455	457	111
<i>Total PCBs for Chlorinated Class</i>			
TRI - CB	20,5	18,5	2,36
TETRA - CB	129	114	14,8
PENTA - CB	187	209	40,7
ESA - CB	373	370	96,5
EPTA - CB	303	296	79,9
Σ Chlorinated Class PCBs	1013	1007	234
Concentration:	pg/g	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ			
Upper-bound			
1998 WHO-TEQ	33,3	36,0	11,7
2005 WHO-TEQ	19,9	20,6	8,70
Middle-bound			
1998 WHO-TEQ	33,3	36,0	11,7
2005 WHO-TEQ	19,9	20,6	8,70
Lower-bound			
1998 WHO-TEQ	33,3	36,0	11,7
2005 WHO-TEQ	19,9	20,6	8,70

Lab. Code:	P-13-052-111113-8	P-13-053-111113-9
Sampling Code:	S7/sin/2012	S8/sin/2012
Province of:	Brescia	Brescia
Type of sample:	Soil	Soil
Mass Analysed (g):	1	1
Data analysed:	14-Nov-13	14-Nov-13
Concentration	ng/g	ng/g
Dioxin-Like PCBs		
Non-ortho-substituted PCBs		
PCB-81	0,004	0,09
PCB-77	0,02	1,72
PCB-126	0,03	0,43
PCB-169	0,008	0,06
Mono-ortho-substituted PCBs		
PCB 105	0,97	91,0
PCB 114	0,04	3,72
PCB 118	1,39	196
PCB 123	0,07	2,64
PCB 156	0,89	72,0
PCB 157	0,23	15,0
PCB 167	0,46	24,5
PCB 189	0,28	10,3
Indicator PCBs		
PCB 28	0,09	9,49
PCB 52	0,13	25,8
PCB 101	0,45	80,5
PCB 138	5,31	261
PCB 153	8,52	329
PCB 180	6,12	393
Σ Indicator PCBs	20,6	1099
Σ Congeners PCBs(*)		
(*): Σ PCB congeners: 28, 52, 81, 77, 101, 118, 126, 138, 153, 156, 169 e 180.	23,0	1370
Total PCBs for Chlorinated Class		
TRI - CB	0,25	21,0
TETRA - CB	1,59	244
PENTA - CB	4,91	639
ESA - CB	19,6	988
EPTA - CB	17,4	755
Σ Chlorinated Class PCBs	44	2647
Concentration:	pg/g	pg/g
PCBs in TEQ		
Upper-bound		
1998 WHO-TEQ	3,77	120
2005 WHO-TEQ	3,20	57,7
Middle-bound		
1998 WHO-TEQ	3,77	120
2005 WHO-TEQ	3,20	57,7
Lower-bound		
1998 WHO-TEQ	3,77	120
2005 WHO-TEQ	3,20	57,7

Capitolo VIII: Valutazione del potenziale tossico e genotossico dei suoli mediante utilizzo del bioindicatore *Trifolium repens* L.

Nell'ambito del progetto Soil, obiettivo dell'unità operativa di Milano-Bicocca (UNIMIB) è stato quello di stimare il potenziale tossico e genotossico di 67 campioni di suolo superficiale (0-30 cm) raccolti in 7 diversi siti della regione Lombardia. A questo scopo è stata utilizzata una procedura standardizzata che si basa sull'utilizzo del bioindicatore vegetale *Trifolium repens* L. e di tecniche biomolecolari (Citterio et al. 2002). I risultati ottenuti, per quanto riguarda la stima del potenziale tossico, non hanno evidenziato fenomeni significativi di mortalità del bioindicatore esposto ai terreni campionati ad eccezione dei suoli CR3 e CR6 (provenienti dall'area di Treviglio) e O1 (proveniente dall'area Autostrada Origgio). Inoltre non sono state osservate variazioni statisticamente significative nella crescita delle pianticelle (misurata in termini di peso secco) tranne nel caso di alcuni suoli derivanti sempre dall'area di Treviglio (CR2, CR3, CR6 e CR14) e del suolo derivante dalla località di Broni (PV). Tutti i suoli campionati in quest'ultima località hanno indotto una riduzione della crescita delle radici delle piante tester ma solo il suolo IT5 ha determinato anche una riduzione della crescita del germoglio, suggerendo che le variazioni riscontrate nella crescita siano da attribuire alle caratteristiche pedologiche più che alla presenza di sostanze tossiche nel suolo.

Per quanto riguarda il potenziale genotossico in generale tutti i suoli tranne quelli campionati a Broni (PV) risultano contenere sostanze genotossiche biodisponibili e sono stati classificati come "moderatamente genotossici".

1. Introduzione

La presenza di inquinanti nei suoli può avere importanti ripercussioni sull'integrità degli equilibri chimici e biologici di questo comparto determinando un deterioramento più o meno grave delle condizioni di salute della componente biotica che su di esso basa il proprio ciclo vitale e di quegli organismi che appartengono ai livelli trofici successivi tra cui l'uomo (Rodrigues et al., 2008).

Tra l'ampio spettro di inquinanti che possono essere presenti nel suolo, meritano particolare attenzione i composti ad azione genotossica. Si tratta generalmente di sostanze che, data la loro struttura, sono in grado di alterare il DNA, causando addotti, alterazioni chimiche delle basi azotate, legami crociati e rotture a livello di singolo e doppio filamento (Deml and Oesterle, 2002). Tali sostanze sono generalmente cancerogene, capaci cioè di provocare tumori negli esseri viventi (Klassen et al. 1995; Beyersmann and

Hartwig, 2008).

Stimare il potenziale genotossico di un suolo diventa quindi di rilevante importanza per valutare la qualità di un suolo, il rischio sanitario dovuto a fenomeni di esposizione diretta (tramite contatto dermico o ingestione) o indiretta (tramite il consumo di prodotti alimentari di origine vegetale o animale ottenuti nell'area contaminata) e per poter ottenere le informazioni necessarie ad effettuare una gestione efficiente del territorio. Sebbene le analisi chimiche rappresentino il metodo più diretto per valutare la presenza di un contaminante nell'ambiente, occorre sottolineare come la relativa pericolosità non dipenda solo dalla quantità, ma dalla sua interazione con altri contaminanti, dalla durata dell'esposizione agli organismi (dose) e dalla sua biodisponibilità, cioè dalla quantità di sostanza, in forma libera e biologicamente attiva, che si trova a disposizione delle strutture bersaglio. Infatti, la capacità delle tradizionali analisi di tipo chimico di definire un livello di inquinamento deriva dalla possibilità di qualificare e quantificare i singoli composti. Tale strategia si dimostra limitata e non in grado d'evidenziare il rischio cancerogeno,

poiché molte delle sostanze cancerogene non sono ancora conosciute o sono attive a livelli sotto la soglia di rilevabilità degli strumenti usati nelle analisi chimiche (Fränzle, 2006).

Per stabilire la reale entità del rischio sia per l'ambiente, sia per l'uomo risulta quindi necessario integrare i dati derivanti da indagini chimiche con quelli ricavati da analisi biologiche.

In ambito biologico hanno avuto un notevole sviluppo ed applicazione le tecniche di bioindicazione che, attraverso l'utilizzo di organismi animali, vegetali e microrganismi, sono in grado di determinare sia qualitativamente sia quantitativamente, gli effetti degli inquinanti sugli ecosistemi (Fränzle, 2006). In particolare le piante sono ottimi bioindicatori perché (i) trovandosi alla base della catena alimentare, subiscono gli effetti degli xenobiotici prima degli altri livelli trofici evidenziando così i possibili danni prima che l'intero ecosistema ne venga interessato; (ii) sono risultate più sensibili a determinanti gruppi d'inquinanti quali gli erbicidi (Wang and Freemark, 1995); (iii) hanno risposte, in termini di anomalie genetiche, comparabili a quelle degli animali (Minissi et al., 1997); (iii) sono facili da coltivare.

Per la stima della genotossicità del suolo e dell'aria, negli anni scorsi è stato sviluppato dal nostro gruppo di ricerca un protocollo basato sulla rilevazione, mediante tecniche molecolari, dei danni genotossici indotti dagli inquinanti del suolo nel trifoglio bianco (*Trifolium repens* L.), usato come bioindicatore (Citterio et al., 2002). Questo protocollo è stato ampiamente applicato dimostrandosi attendibile e molto utile per definire la qualità degli ambienti. In questo lavoro tale protocollo è stato utilizzato per valutare la qualità di suoli prelevati in aree critiche della Regione Lombardia.

2. Materiali e metodi

2.1 Provenienza dei suoli e disegno sperimentale

L'Unità operativa di Piacenza ha fornito ad UNIMIB complessivamente 67 campioni di terreno prelevati da 7 diverse località della regione Lombardia come riportato in Tabella 1.

Tabella 1: luoghi campionamento

N° campioni	Nome campioni	Località
8	(V1-V8)	Pieve Fissiraga (Lo)
8	(O1-O8)	Autostrada Origgio
9	(IT1-IT9)	Broni (PV)
8	(S1-S8)	Brescia Agricola
8	(F1-F8)	Boario Terme
14	(CR1-CR14)	Treviglio
12	(P1-P12)	Parona

Operativamente pianticelle di trifoglio bianco di circa 10 cm sono state trapiantate nei suoli da analizzare precedentemente setacciati. Per ciascun suolo campionato sono stati preparati 3 vasi ciascuno contenente 12 pianticelle. Sono stati inoltre preparati 3 ulteriori vasi di controllo contenenti terreno sicuramente non contaminato costituito da suolo sabbioso al 3% di sostanza organica. Dopo due settimane di esposizione il materiale vegetale è stato prelevato ed una parte è stata utilizzata per la misura dei parametri di crescita mentre la parte rimanente è stata conservata a -80°C per i successivi esperimenti di biologia molecolare finalizzati alla valutazione dei danni al DNA eventualmente indotti dalla esposizione ai terreni.

I parametri di crescita considerati sono stati la percentuale di mortalità e il peso secco della pianta intera, della radice e del germoglio. La Figura 1 riporta alcuni vasi che mostrano come apparivano le pianticelle dopo due settimane dal trapianto, subito prima del prelievo.

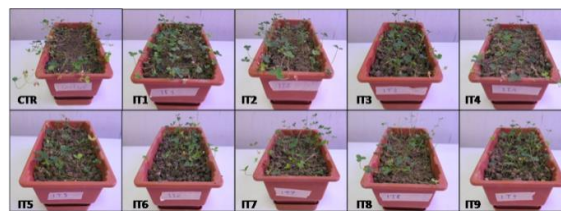


Figura 1. Esempio di piante tester dopo 14 giorni di esposizione ai di suoli campionati e ai suoli di controllo.

La misura del peso secco è stata effettuata su 6 individui per vaso campionati in modo casuale.

2.2 Determinazione del potenziale genotossico dei suoli

La stima del potenziale genotossico dei suoli campionati è stata effettuata seguendo il protocollo di Citterio et al. (2002) che prevede l'applicazione dei marcatori molecolari, tecnica adeguata a determinare le eventuali variazioni a livello della sequenza del DNA indotte dalla presenza nel suolo di inquinanti genotossici. In relazione alla percentuale di polimorfismo del DNA (danno al DNA) i campioni di suolo sono stati classificati in (1) non genotossici, (2) moderatamente genotossici, (3) genotossici, (4) altamente genotossici (Tabella 2).

Tabella 2: Classi di polimorfismo per la classificazione dei suoli in relazione al loro potenziale genotossico.

Classe 1	< 6%	non genotossico
Classe 2	6%-20%	moderatamente genotossico
Classe 3	20%-35%	genotossico
Classe 4	> 35%	altamente genotossico

3. Risultati e discussione

I risultati ottenuti relativi alla mortalità, al peso secco e ai danni al materiale genetico (% di Polimorfismo) indotti dai suoli alle piante tester sono riassunti in Tabella 3. Di seguito verranno prima relazionati separatamente i risultati relativi alla mortalità/crescita (tossicità generale) e ai danni al materiale genetico (genotossicità), poi tali risultati verranno discussi complessivamente.

3.1 Sopravvivenza e crescita delle piante tester

La Tabella 3 riporta le misure dei parametri di crescita effettuate sulle piante tester dopo 15 giorni di esposizione ai suoli.

È possibile osservare che tutte le piante esposte ai terreni campionati nelle località lombarde Pieve Fissiraga (Viscolumbe) e Brescia (zona agricola SIN), sono sopravvissute. Per quanto riguarda i suoli prelevati nelle altre località è stata registrata la morte di un numero di pianticelle significativo solo per il suolo O1 proveniente dall'area Autostrada Origgio e per i suoli CR3 e CR6 provenienti dall'area di Treviglio.

Questi ultimi due suoli hanno indotto anche una riduzione della crescita dei germogli delle piante tester. Variazioni statisticamente significative nella crescita dei germogli delle pianticelle (misurata in termini di peso secco) sono state osservate anche per altri suoli derivanti sempre dall'area di Treviglio (CR2 e CR14) che non avevano causato una mortalità significativa. Solo i suoli derivanti dalla località di Broni (PV) hanno indotto una riduzione della crescita delle radici delle piante tester ma solo il suolo IT5 ha determinato anche una riduzione della crescita del germoglio. Ciò suggerirebbe che nel caso di Broni le variazioni riscontrate nella crescita siano da attribuire alle caratteristiche pedologiche (in particolare alta presenza di argille) più che alla presenza di sostanze tossiche nel suolo.

Alcuni terreni invece sembrano aver favorito la crescita dei germogli delle piante tester. Questo fenomeno potrebbe essere legato a fenomeni di ormesi e/o alla possibile presenza di una maggiore quantità di sostanza organica in questi terreni rispetto al controllo.

In generale questi dati indicano che le eventuali sostanze inquinanti presenti nel terreno hanno effetto ridotto o nullo a breve termine sulla sopravvivenza e sulla crescita del bioindicatore. È necessario comunque sottolineare che molte sostanze pericolose per la salute, come ad esempio quelle cancerogene, pur non avendo effetti immediati evidenti sulla crescita, sono responsabili dell'insorgenza di malattie nel lungo periodo.

3.2 Stima del potenziale genotossico dei suoli

La valutazione del potenziale genotossico dei suoli campionati è stata effettuata mediante tecniche biomolecolari che sfruttano i marcatori molecolari. Questi permettono di evidenziare e quantificare le eventuali variazioni nella sequenza del DNA delle piante tester indotte dalla presenza nel suolo di inquinanti genotossici.

I risultati riportati in Tabella 3 indicano che in generale tutti i suoli tranne quelli campionati a Broni (PV) inducono dei danni al DNA (espressi come percentuale di Polimorfismo) del bioindicatore: tali mutazioni risultano comunque limitate e per questo i suoli sono stati classificati come moderatamente genotossici.

È interessante notare come in generale i suoli hanno indotto danni al DNA più elevati a livello della radice rispetto al germoglio suggerendo per alcuni siti la presenza di inquinanti organici oltre eventualmente a quelli inorganici; fanno eccezione i suoli O4-O7 e CR1-CR2-CR8-CR10 provenienti rispettivamente dalla località Autostrade Origgio e Treviglio in cui i polimorfismi sono risultati più consistenti nel germoglio suggerendo in questo caso la presenza di alcuni inquinanti inorganici che si sa essere più facilmente traslocati alla parte aerea della pianta.

È inoltre importante sottolineare che il potenziale genotossico di un terreno è molto influenzato dalla biodisponibilità dei contaminanti. Infatti solo se gli inquinanti genotossici sono biodisponibili possono essere assorbiti dal bioindicatore e provocare modificazioni al DNA. La frazione di contaminante biodisponibile è regolata da diversi fattori tra cui i più importanti sono il pH del suolo, il potenziale ossido-riduttivo, il contenuto di sostanza organica, la presenza di sostanze umiche e la presenza di componenti adsorbenti (tra cui le argille).

Ad esempio, tutti i terreni prelevati in località Broni sono risultati basici. Questo fattore può aver determinato una scarsa biodisponibilità di contaminanti quali i metalli pesanti, facendo risultare questi suoli non genotossici. Al contrario i suoli derivanti dalle località Pieve Fissiraga e Autostrade Origgio, sono acidi ed è possibile che la presenza in questi suoli anche di limitate concentrazioni di inquinanti inorganici possa aver determinato la genotossicità riscontrata nei saggi per cui tali suoli sono stati classificati come "moderatamente genotossici". In questi terreni anche basse concentrazioni di sostanze cancerogene potrebbero diventare dannose perché più facilmente assorbibili.

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

Tabella 3: Parametri di crescita (Sopravvivenza e Peso secco) e danni al DNA (Polimorfismo %) misurati sulle pianticelle tester dopo 15 giorni di esposizione al suolo. Gli asterischi indicano i risultati dei pesi secchi statisticamente significativi rispetto al controllo ($P<0,05$, Anova + Dunnet Test). In grigio sono evidenziati i valori di crescita statisticamente inferiori rispetto al controllo. I risultati relativi ai danni provocati al DNA delle piante tester sono evidenziati con diversi colori (come riportato in Tab.2): verde per i terreni non genotossici; giallo per i terreni moderatamente genotossici; arancione per i terreni genotossici.

AREA	SIGLA	Sopravvivenza		Peso Secco gr (media ± dev.st.)			Polimorfismo (%)			pH
		Media	%	Radice	Germoglio	Intera	Radice	Germoglio	Pianta	
Viscolube Pieve Fissiraga	V1	36	100%	0,0044±0,0017	0,0161±0,0046	0,0204±0,0052	16	5	11	5,9
	V2	36	100%	0,0033±0,0019	0,0194±0,0027	0,0227±0,0034	14	4	9	6,3
	V3	36	100%	0,0038±0,0013	0,0186±0,0019	0,0224±0,0022	19	5	12	6,0
	V4	36	100%	0,0037±0,0013	0,0162±0,0031	0,0200±0,0042	20	5	13	6,1
	V5	36	100%	0,0033±0,0016	0,0191±0,0025	0,0223±0,0027	21	4	12	6,6
	V6	36	100%	0,0032±0,0016	0,0211±0,0021 *	0,0244±0,0022 *	20	5	12	6,0
	V7	36	100%	0,0037±0,0012	0,0229±0,0032 *	0,0266±0,0031 *	24	5	15	6,5
	V8	36	100%	0,0034±0,0007	0,0206±0,0036	0,0241±0,0041	16	5	11	6,3
Autostrada Origgio	O1	31 *	86%	0,0031±0,0012	0,0105±0,0052	0,0136±0,0049	17	6	11	4,7
	O2	36	100%	0,0048±0,0011	0,0279±0,0053 *	0,0327±0,0062 *	14	11	12	5,2
	O3	36	100%	0,0039±0,0003	0,0303±0,0051 *	0,0342±0,0053 *	9	8	8	5,3
	O4	36	100%	0,0040±0,0014	0,0311±0,0070 *	0,0352±0,0071 *	13	17	15	5,4
	O5	33	92%	0,0036±0,0009	0,0174±0,0032	0,0210±0,0038	17	13	15	4,7
	O6	36	100%	0,0037±0,0009	0,0193±0,0019	0,0229±0,0020	18	10	14	4,9
	O7	36	100%	0,0046±0,0014	0,0223±0,0055	0,0270±0,0065 *	13	19	16	5,3
	O8	36	100%	0,0042±0,0008	0,0244±0,0055 *	0,0286±0,0059 *	12	11	12	5,4
Broni Italcementi	IT1	34	94%	0,0014±0,0006 *	0,0128±0,0050	0,0143±0,0054	5	2	3	7,5
	IT2	36	100%	0,0016±0,0011 *	0,0151±0,0043	0,0167±0,0044	4	2	3	7,7
	IT3	36	100%	0,0013±0,0011 *	0,0124±0,0020	0,0137±0,0027	4	3	3	7,8
	IT4	36	100%	0,0016±0,0009 *	0,0148±0,0036	0,0164±0,0037	3	1	2	7,9
	IT5	34	94%	0,0023±0,0006 *	0,0094±0,0018 *	0,0116±0,0015 *	4	1	2	7,9
	IT6	36	100%	0,0020±0,0011 *	0,0115±0,0026	0,0136±0,0029	4	2	3	8,1
	IT7	36	100%	0,0019±0,0008 *	0,0148±0,0042	0,0167±0,0044	3	3	3	8,0
	IT8	36	100%	0,0022±0,0006 *	0,0133±0,0017	0,0154±0,0020	5	1	3	8,0
	IT9	36	100%	0,0016±0,0006 *	0,0115±0,0016	0,0132±0,0014	4	2	3	7,8
SIN - Brescia Agricola	S1	36	100%	0,0025±0,0010	0,0134±0,0027	0,0158±0,0025	14	11	12	7,5
	S2	36	100%	0,0023±0,0008	0,0146±0,0024	0,0169±0,0030	13	6	10	7,7
	S3	36	100%	0,0035±0,0012	0,0173±0,0031	0,0208±0,0034	14	9	12	7,8
	S4	36	100%	0,0024±0,0005	0,0144±0,0008	0,0168±0,0008	15	8	12	7,8
	S5	36	100%	0,0040±0,0010	0,0195±0,0040	0,0235±0,0049	18	7	12	7,9
	S6	36	100%	0,0033±0,0009	0,0161±0,0014	0,0194±0,0013	16	10	13	7,9
	S7	36	100%	0,0028±0,0006	0,0127±0,0027	0,0155±0,0030	17	12	14	7,9
	S8	36	100%	0,0034±0,0005	0,0161±0,0033	0,0195±0,0036	21	9	15	7,7
Fonderia - Darfo Boario Terme	F1	34	94%	0,0023±0,0004	0,0148±0,0041	0,0171±0,0041	19	1	10	5,9
	F2	36	100%	0,0030±0,0008	0,0166±0,0034	0,0196±0,0035	19	5	12	7,3
	F3	36	100%	0,0031±0,0011	0,0309±0,0081 *	0,0341±0,0087 *	18	4	11	7,2
	F4	33	92%	0,0034±0,0015	0,0143±0,0020	0,0176±0,0027	18	5	11	6,3
	F5	36	100%	0,0032±0,0011	0,0159±0,0020	0,0191±0,0015	16	4	10	5,9
	F6	36	100%	0,0030±0,0011	0,0326±0,0063 *	0,0356±0,0059 *	19	3	11	7,6
	F7	34	94%	0,0059±0,0079	0,0169±0,0038	0,0228±0,0058	16	5	10	7,7
	F8	36	100%	0,0042±0,0008	0,0234±0,0052	0,0276±0,0053 *	18	3	10	6,2
Treviglio Plume Cromo esavalente	CR1	36	100%	0,0049±0,0023	0,0221±0,0046 *	0,0269±0,0062	5	12	9	7,1
	CR2	33	92%	0,0040±0,0017	0,0132±0,0045 *	0,0172±0,0052	10	12	11	7,5
	CR3	27 *	75%	0,0034±0,0010	0,0106±0,0036 *	0,0137±0,0039	11	10	10	7,0
	CR4	36	100%	0,0038±0,0009	0,0253±0,0043 *	0,0291±0,0044 *	18	15	16	6,2
	CR5	34	94%	0,0045±0,0011	0,0173±0,0029 *	0,0218±0,0031	12	12	12	7,4
	CR6	29 *	81%	0,0044±0,0019	0,0152±0,0039 *	0,0196±0,0056	5	11	8	6,3
	CR7	36	100%	0,0037±0,0009	0,0292±0,0094 *	0,0328±0,0094 *	15	14	15	7,0
	CR8	36	100%	0,0037±0,0006	0,0242±0,0041 *	0,0278±0,0045	14	15	14	7,1
	CR9	36	100%	0,0035±0,0016	0,0212±0,0040 *	0,0247±0,0033	14	11	12	6,8
	CR10	36	100%	0,0046±0,0017	0,0415±0,0087 *	0,0462±0,0102 *	11	17	14	7,1
	CR11	36	100%	0,0042±0,0014	0,0256±0,0056 *	0,0298±0,0053 *	15	4	10	7,7
	CR12	36	100%	0,0039±0,0013	0,0183±0,0042 *	0,0221±0,0050	16	4	10	6,6
	CR13	36	100%	0,0042±0,0008	0,0245±0,0048 *	0,0287±0,0046 *	18	11	15	7,2
	CR14	36	100%	0,0037±0,0019	0,0145±0,0033 *	0,0182±0,0050	15	4	9	6,6
Parona - Inceneritore	P1	35	97%	0,0024±0,0013	0,0138±0,0027	0,0162±0,0036	20	4	12	4,6
	P2	36	100%	0,0033±0,0016	0,0242±0,0059	0,0275±0,0072	15	3	9	5,7
	P3	36	100%	0,0045±0,0011	0,0230±0,0044	0,0275±0,0047	16	7	12	7,3
	P4	36	100%	0,0031±0,0010	0,0239±0,0067	0,0270±0,0068	16	3	10	5,4
	P5	36	100%	0,0038±0,0013	0,0279±0,0052 *	0,0317±0,0045 *	18	7	12	6,3
	P6	36	100%	0,0034±0,0011	0,0237±0,0070	0,0271±0,0069	23	1	12	5,1
	P7	36	100%	0,0059±0,0014 *	0,0289±0,0085 *	0,0348±0,0089 *	22	1	11	5,5
	P8	36	100%	0,0036±0,0012	0,0278±0,0076 *	0,0314±0,0083 *	18	1	9	5,6
	P9	36	100%	0,0039±0,0016	0,0252±0,0057	0,0291±0,0067 *	18	3	10	6,1
	P10	36	100%	0,0030±0,0005	0,0229±0,0053	0,0259±0,0056	16	2	9	6,5
	P11	36	100%	0,0046±0,0005	0,0212±0,0027	0,0258±0,0025	14	1	8	5,4
	P12	36	100%	0,0039±0,0011	0,0196±0,0051	0,0234±0,0049	25	1	13	5,2
CONTROLLO		36	100%	0,0038±0,0011	0,0148±0,0038	0,0186±0,0035				

3.3 Risultati complessivi

Di seguito vengono riportati e discussi i risultati medi ottenuti dall'analisi del bioindicatore relativamente ad ogni località al fine di avere una visione complessiva della qualità del suolo nelle aree considerate.

Nelle tabelle, gli asterischi evidenziano i valori di crescita statisticamente diversi dal controllo; in verde, in giallo ed in arancione sono invece evidenziati rispettivamente i terreni non genotossici, moderatamente genotossici e genotossici.

LOCALITA' PIEVE FISSIRAGA

		Media	SD	152/06
Sopravvivenza %		100	0	-
Peso Secco g	Radice	0,0036	0,0013	-
	Germoglio	0,0192	0,0029	-
	Intera	0,0228	0,0034	-
Polimorfismo (%)	Radice	19	3	-
	Germoglio	5	1	-
	Pianta	12	2	-
pH		6,2	0,3	-
C organico %		1,53	0,30	-
Elementi inorganici superiori ai limiti	Sn mg kg ⁻¹	1,4	0,99	A

I risultati delle analisi biologiche indicano che nei terreni prelevati in località Pieve Fissiraga sono presenti composti (inorganici e/o organici) che nel complesso non influiscono sulla crescita del bioindicatore ma che hanno una moderata attività genotossica. Poichè il danno genotossico riguarda il solo apparato radicale è probabile che la causa sia da ricercare tra i composti organici che difficilmente vengono traslocati al germoglio.

LOCALITA' AUTOSTRADA ORIGGIO

		Media	SD	152/06
Sopravvivenza %		97	5	-
Peso Secco g	Radice	0,0040	0,001	-
	Germoglio	0,0229 *	0,0048	-
	Intera	0,0269 *	0,0052	-
Polimorfismo (%)	Radice	14	3	-
	Germoglio	11	5	-
	Pianta	12	3	-
pH		5,1	0,3	-
C organico %		1,4	0,17	-
Elementi inorganici superiori ai limiti	Sn mg kg ⁻¹	1,6	0,84	A

I suoli di questa località in media hanno indotto nel bioindicatore un danno genotossico moderato suggerendo la presenza di sostanze genotossiche inorganiche, biodisponibili (grazie all'acidità del suolo), che vengono traslocate al germoglio. Ciò è supportato

anche dall'effetto ormetico (aumento della biomassa dovuto alla presenza di limitate concentrazioni di inorganici) indotto dal suolo sulla crescita del bioindicatore. La causa della genotossicità riscontrata potrebbe quindi essere dovuta alla presenza di inorganici, i quali, anche se presenti in concentrazione limitata, potrebbero agire in modo additivo/sinergico.

LOCALITA' BRONI

		Media	SD	152/0
Sopravvivenza %		99	2	-
Peso Secco g	Radice	0,0017	0,0009	-
	Germoglio	0,0128	0,0032	-
	Intera	0,0146	0,0033	-
Polimorfismo (%)	Radice	4	1	-
	Germoglio	2	1	-
	Intera	3	0	-
pH		7,9	0,2	-
Tessitura	argilla %	39,5	5,5	-
	limo %	43,9	4,6	-
	sabbia %	16,6	6,4	-
C organico %		1,42	0,30	-
Elementi inorganici superiori ai limiti di legge	Cu mg kg ⁻¹	192,3	117,98	A
	Sn mg kg ⁻¹	2,0	1,26	A

In media i terreni prelevati in località Broni non hanno indotto fenomeni di tossicità/genotossicità sul bioindicatore. La diminuzione della crescita delle radici rispetto al controllo è legata probabilmente alla tessitura dei terreni (alta % di argille). È necessario inoltre tenere presente che il pH alcalino del suolo limita la biodisponibilità degli elementi inorganici.

LOCALITA' BRESCIA

		Media	SD	152/06
Sopravvivenza %		100	0	-
Peso Secco g	Radice	0,0030	0,0008	-
	Germoglio	0,0155	0,0025	-
	Intera	0,0185	0,0028	-
Polimorfismo (%)	Radice	16	3	-
	Germoglio	9	2	-
	Pianta	13	2	-
pH		7,7	0,1	-
Tessitura	argilla %	9,7	4,0	-
	limo %	46,4	4,9	-
	sabbia %	43,9	5,8	-
C organico %		2,7	0,39	-
Elementi inorganici superiori ai limiti di legge	As mg kg ⁻¹	71,0	58,62	B
	Pb mg kg ⁻¹	203,5	185,34	A
	Cu mg kg ⁻¹	137,5	62,76	A
	Zn mg kg ⁻¹	276,0	159,40	A
	Hg mg kg ⁻¹	5,9	6,59	B
	Sn mg kg ⁻¹	4,6	2,58	A

Nel complesso i risultati ottenuti indicano la presenza di sostanze potenzialmente genotossiche nel suolo, che non influiscono sulla sopravvivenza e crescita del bioindicatore perché probabilmente sono poco biodisponibili.

Questi suoli sono notoriamente contaminate da PCBs, mercurio e arsenico che nell'insieme dovrebbero indurre un elevato danno genotossico. Si riscontra invece un danno moderato in quanto il pH alcalino limita sicuramente la biodisponibilità degli inorganici e probabilmente molti congeneri di PCBs presenti sono PCBs con alto numero di atomi di cloro e quindi meno biodisponibili di PCBs a bassa clorazione (Anyasi and Atagana, 2011).

LOCALITA' DARFO BOARIO TERME

		Media	SD	152/06
Sopravvivenza %		98	4	-
Peso Secco g	Radice	0,0035	0,0011	-
	Germoglio	0,0207	0,0044	-
	Intera	0,0242	0,0047	-
Polimorfismo (%)	Radice	18	1	-
	Germoglio	4	1	-
	Pianta	11	1	-
pH		6,8	0,8	-
C organico %		2,18	0,64	-
Elementi inorganici superiori ai limiti di legge	As mg kg ⁻¹	58,9	32,82	B
	Sn mg kg ⁻¹	1,6	0,84	A

I risultati, in media, non evidenziano fenomeni di tossicità (mortalità e riduzione della crescita) dei terreni campionati in località Boario Terme. Nonostante ciò le analisi di genotossicità hanno permesso di classificare questo suolo come moderatamente genotossico. Questi dati nel loro complesso suggeriscono la presenza di sostanze potenzialmente genotossiche nel suolo, biodisponibili che non vengono traslocate al germoglio. La presenza di una concentrazione elevata di arsenico potrebbe spiegare il danno arrecato dal suolo al DNA del bioindicatore.

LOCALITA' TREVIGLIO

		Media	SD	152/06
Sopravvivenza %		96	8	-
Peso Secco g	Radice	0,00404	0,00139	-
	Germoglio	0,02160 *	0,00485	-
	Intera	0,02562 *	0,00541	-
Polimorfismo (%)	Radice	13	4	-
	Germoglio	11	4	-
	Pianta	12	3	-
pH		7	0,4	-
C organico %		1,78	0,52	-
Elementi inorganici superiori ai limiti di legge	Zn mg kg ⁻¹	175,1	165,9	A
	Sn mg kg ⁻¹	2,2	1,52	A

I dati ottenuti indicano la probabile presenza nel suolo

di contaminanti genotossici, almeno parzialmente biodisponibili, che vengono traslocati al germoglio. Come nel caso del sito Autostade Origgio l'induzione da parte del suolo di un effetto ormetico è in accordo con la presenza di limitate concentrazioni di inorganici biodisponibili che, anche se presenti in concentrazioni limitate, potrebbero agire in modo additivo/sinergico.

LOCALITA' PARONA

		Media	SD	152/06
Sopravvivenza %		100	0	-
Peso Secco g	Radice	0,0038	0,0011	-
	Germoglio	0,0235 *	0,0056	-
	Intera	0,0273 *	0,0059	-
Polimorfismo (%)	Radice	18	3	-
	Germoglio	3	2	-
	Pianta	11	2	-
pH		5,7	0,7	-
C organico %		1,0	0,34	-
Elementi inorganici superiori ai limiti di legge	Sn mg kg ⁻¹	1,2	0,75	A

I risultati fanno supporre la presenza nel suolo di sostanze inorganiche e/o organiche, potenzialmente genotossiche, biodisponibili, che non vengono traslocate al germoglio. Data l'assenza di elementi inorganici in concentrazione superiore ai limiti di legge (escludendo lo stagno il cui limite non è attendibile) è possibile che l'attività genotossica sia dovuta ad un effetto additivo/sinergico dei singoli elementi presenti e/o alla presenza di sostanze organiche non considerate.

4. Conclusioni

Il presente studio ha permesso di valutare la qualità di suoli campionati in aree critiche della Regione Lombardia in relazione al loro potenziale genotossico. In generale i suoli analizzati sono stati classificati tutti come moderatamente genotossici ad eccezione di quelli derivanti dalla località di Broni. Ciò sta ad indicare la presenza di sostanze mutagene, almeno parzialmente biodisponibili, capaci di indurre danni al bioindicatore utilizzato. Nonostante la salute di questi suoli, prelevati in aree agricole, non risulti estremamente pericolosa, è necessario non sottovalutare il potenziale rischio dovuto a fenomeni di bioaccumulazione e trasferimento nella catena alimentare che ha come ultimo consumatore l'uomo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Anyasi RO and Atagana HI: Biological remediation of polychlorinated biphenyls (PCB) in the soil and sediments by microorganisms and plants. "*African Journal of Plant Science*", 2011, n.5(7), p. 373-389.
- [2] Beyersmann D and Hartwig A: Carcinogenic metal compounds: recent insight into molecular and cellular mechanisms. "*Archives of Toxicology*", 2008, n.82(8), p. 493-512.
- [3] Citterio S, Aina R, Labra M, Ghiani A, Fumagalli P, Sgorbati S, Santagostino A: Soil genotoxicity assessment: a new strategy based on biomolecular tools and plant bioindicators. "*Environmental Science & Technology*", 2002 n.36, p. 2748-2753.
- [4] DemL E and Oesterle D: La cancerogenesi chimica, in: *Tossicologia* a cura di Greim H and DemL E, Zanichelli, 2002.
- [5] Frañzle. Complex bioindication and environmental stress assessment. "*Ecological Indicators*", 2006, n.6, p. 114-136.
- [6] Klaassen CD In: Casarett and Doull's Tossicology: *The Basic Science of Poisons*, 5th ed; Klaassen CD, Ed McGraw-Hill Companies: New York, 1995, p. 199-267.
- [7] Minissi S, Lombi E: Heavy metal content and mutagenic activity; evaluated by *Vicia faba* micronucleus test, of Tiber river sediments. "*Mutation Research*", 1997, n.393, p. 17-21.
- [8] Rodrigues SM, Pereira ME, da Silva EF, Hursthouse AS, Duarte AC: "*Environment International*" 2009, n.35(1), p. 214-25.
- [9] Wang W, Freemark K: The use of plants for environmental monitoring and assessment. "*Ecotoxicology and Environmental Safety*", 1995, n.30, p. 289-301.

Capitolo IX: Struttura delle comunità dei protozoi ciliati

L'analisi della struttura delle comunità dei protozoi ciliati del suolo costituisce un sensibile strumento per valutare eventuali impatti derivanti da attività agricole e/o industriali. Nell'ambito del progetto Soil Mapping, abbiamo valutato quali-quantitativamente la struttura di comunità dei protozoi ciliati in 4 siti industriali della regione Lombardia (Il termovalorizzatore di Parona, (PV); la Viscolubedi di Pieve Fissiraga (LO); il cementificio di Broni (PV); il SIN Brescia), al fine di trarne indicazione rispetto ai loro potenziali livelli di contaminazione. Analisi univariate e multivariate hanno mostrato che le comunità di ciliati presenti nei 4 siti sono significativamente diverse tra di loro con l'eccezione delle comunità presenti nei siti Parona e Viscolube che risultano pertanto essere molto simili per composizione tassonomica ed abbondanze. Relativamente all'Indice C/P specifico per i ciliati, che misura il rapporto tra specie a selezione r (colpoda) e specie a selezione k (polimenofora), i siti maggiormente idonei per le comunità dei ciliati risultano essere quelli di Parona ($C/P=0.38$) e Viscolube ($C/P=0.83$), mentre i siti SIN Brescia ($C/P=1$) e Italcementi ($C/P=2$) risultano essere i meno idonei. Quest'ultimi siti evidenziano una dominanza di Colpodea un taxa tollerante all'inquinamento, la cui presenza costituisce un buon indicatore di contaminazione del suolo. Le analisi di CCA e GPA mostrano la presenza di una correlazione tra la composizione in specie e le variabili ambientali. Sulla base dei risultati dell'indicatore "protozoi ciliati" è stato possibile stilare una classifica della qualità dei suoli dei 4 siti (da quelli più idonei verso quelli meno idonei): $P > V > IT \& S$

1. Introduzione

Microrganismi eucariotici come i protozoi (ciliati, flagellati ed amebe) costituiscono una essenziale, seppur ancor poco studiata, componente di tutti gli ecosistemi incluso l'ecosistema suolo (Figura 1 A) [1]. I protozoi svolgono ruoli chiave in tutte le tipologie di suolo incluse quelle influenzate dalle attività umane (aree agricole, urbane, industriali). Essi nutrendosi principalmente di batteri, contribuiscono a stimolare i processi di mineralizzazione soprattutto a livello della rizosfera determinando, in questo modo, degli effetti benefici sulla crescita delle piante. I protozoi costituiscono, infatti, un ingranaggio essenziale del cosiddetto *soil microbial loop* [2]. I protozoi ciliati per sopravvivere in un ambiente "difficile" come il suolo hanno evoluto una serie di adattamenti che includono tra gli altri, la possibilità di produrre delle "cisti" (*resting cysts*) che gli consentono di superare periodi di scarsità di cibo e/o di essiccamento (Figura 1 B). Il numero di protozoi presenti nel suolo (inteso sia come forme attive in grado di nutrirsi che come forme inattive, cioè cisti) può variare da 10.000 fino ai 100.000 ind. g^{-1} di suolo in rapporto al contenuto di C organico, N, umidità, tessitura, livello di contaminanti e disponibilità di cibo [3]. Anche le strategie riproduttive entrano in gioco al fine di favorire la sopravvivenza nel suolo. Ad es. in alcuni taxa di ciliati del suolo come nei *Colpodea*, la presenza di una cisti quadripartita determina un tasso di crescita estremamente rapido che conferisce a questo

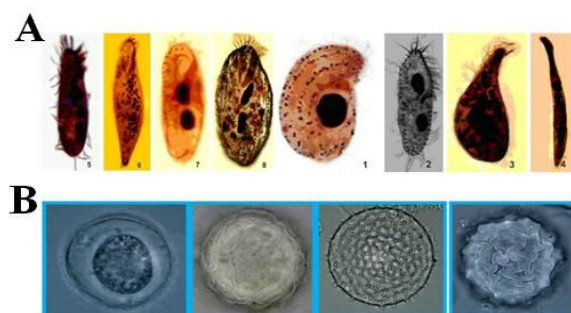


Figura 1. A: Protozoi ciliati; B: Cisti.

gruppo, un elevato vantaggio competitivo nei suoli disturbati. Ai *Colpodea* appartengono, infatti, specie a selezione r mentre le specie a selezione K , caratterizzate da tassi di crescita più lenti, appartengono per lo più al gruppo degli *Spirotrichea* e degli *Heterotrichea* generalmente identificati come polimenofora [4]. Le specie a selezione K al contrario delle specie a selezione r , sono preferenzialmente presenti nei suoli stabili, non disturbati.

La sensibilità dei ciliati ad un ampio spettro di inquinanti è stata ben documentata sia in specie modello (es. *Tetrahymena*) principalmente attraverso la messa a punto di saggi ecotossicologici di laboratorio [5-7] sia *sul campo* [8,9]. In particolare, studi volti ad analizzare la struttura delle loro comunità hanno fornito elementi preziosi per valutare e monitorare cambi nell'ambiente abiotico e biotico e a valutare gli eventuali impatti derivanti da attività agricole ed industriali [10-12].

L'obiettivo principale di questa analisi è stato quello di valutare quali-quantitativamente la struttura di comunità dei protozoi ciliati in 4 siti industriali della regione Lombardia: 1) l'impianto di trattamento e termovalorizzazione rifiuti di Parona (PV); 2) l'impianto di rigenerazione degli oli esausti Viscolube di Pieve Fissiraga (LO); 3) il cementificio di Broni (PV) e 4) il Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Brescia, al fine di trarne indicazione rispetto ai loro potenziali livelli di contaminazione.

trattamento e termovalorizzazione rifiuti di Parona (PV), 8 punti; 2) l'impianto di rigenerazione degli oli esausti Viscolube di Pieve Fissiraga (LO), 8 punti; 3) il cementificio di Broni (PV), 6 punti e 4) il Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Brescia, 8 punti (Figura 2). Le attività di campionamento sono state effettuate da due operatori (Dott.sse Antonietta La Terza e Silvia Marinsalti) e sono state realizzate nel mese di marzo 2013, nei giorni 20, 21 e 22. Ogni punto è stato raggiunto utilizzando un GPS Etrex 30 (Garmin) nel

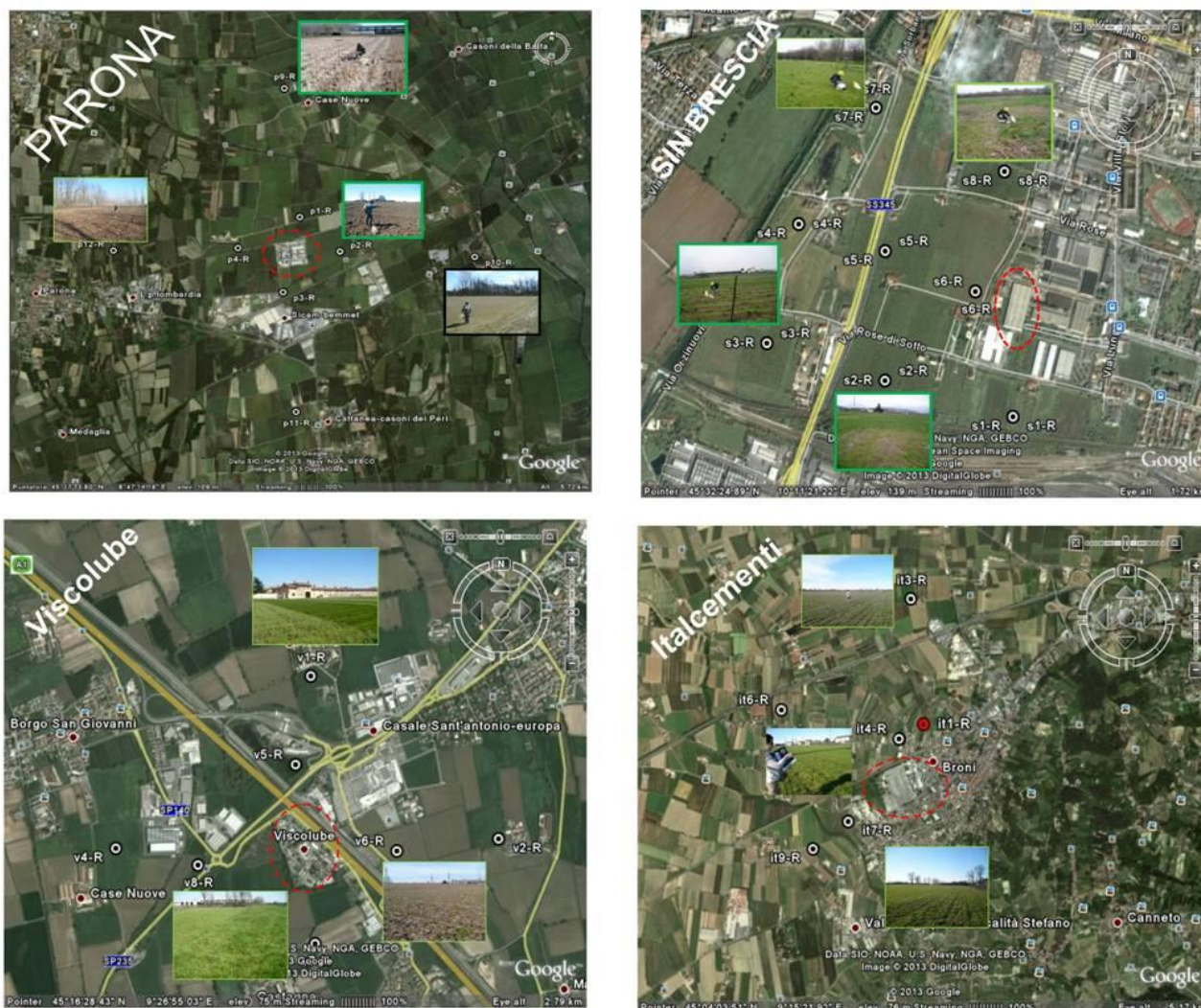


Figura 2. Campionamenti

2. Materiali e Metodi

2.1 Siti di studio e campionamento

I siti interessati alle analisi della struttura delle comunità dei protozoi ciliati del suolo sono stati 4 per un prelievo totale di 30 campioni di suolo: 1) l'impianto di

quale erano state precedentemente inserite le coordinate geografiche di ciascun punto in esame. Il campionamento del suolo (0-10 cm di profondità) è stato effettuato con il metodo del "parallel leaping" [13] con l'utilizzo di una trivella pedologica. Questo metodo di campionamento prevede la raccolta di una decina di campioni di suolo in maniera *random* da un'area di circa 100 m². I campioni sono stati posti in buste di plastica sterile e rapidamente miscelati in modo da ottenere un campione composito, trasferiti in una borsa

termica per essere trasportati in laboratorio. Durante il campionamento sono state effettuati rilievi fotografici per ciascun punto, compilate le schede di rilevamento e misurati i principali parametri ambientali come temperatura (dell'aria e del suolo) e umidità del suolo (Figura 3 e 4).



Figura 3. Prelievo del suolo mediante trivella pedologica.



Figura 4. Misura parametri ambientali.

2.2 Analisi quali-quantitativa dei protozoi ciliati

Per quanto riguarda la successiva analisi di laboratorio volta ad analizzare quali-quantitativamente la comunità dei protozoi ciliati del suolo, si è utilizzato il protocollo, noto come *non-flooded Petri dish method* [13]. Brevemente il metodo prevede che il campione di suolo dopo un periodo di essiccazione (variabile da una settimana ad un mese in rapporto alla percentuale di umidità del campione) necessario al fine di favorire l'ottimale formazione/maturazione delle cisti dei ciliati presenti nel campione, sia posto in una capsula petri del diametro di 20 cm e saturato con un volume di acqua

tale da non "inondarlo" (*non-flooded*), ma solo di consentire di raccogliere un eluato di circa 5 mL per le successive analisi. Il metodo del "*non-flooded Petri dish*" viene realizzato nell'arco di 7 giorni con prelievi dell'eluato al 3°, 5° e 7° giorno. Dopo ogni prelievo il liquido mancante viene ripristinato. Una volta prelevato l'eluato, esso viene osservato allo stereoscopio per una preliminare stima *in vivo* quali-quantitativa della fauna ciliata presente nel campione e poi fissato nella soluzione di Bouin per una successiva preparazione di vetrini e colorazione con protargolo [14]. I vetrini così ottenuti sono poi utilizzati sia per la valutazione qualitativa (riconoscimento, quando possibile, a livello di genere/specie) che per quella quantitativa tramite conteggio diretto su vetrino delle specie/genere precedentemente identificati. Per ogni campione di suolo sono stati preparati 6 vetrini per un totale di 180 vetrini per tutti e 30 i punti esaminati con le metodologie sopracitate. Le identificazione sono state principalmente condotte secondo Lynn e Small (2002) [15] e Lynn (2008) [16].

2.3 Indici di Biodiversità ed analisi statistiche

Al fine di ottenere in ciascun sito/punto di monitoraggio, una panoramica della struttura dei protozoi ciliati del suolo e della loro variazione spaziale in risposta ad eventuali cambiamenti dei parametri ambientali, i dati biotici quali-quantitativi (n° specie e loro abbondanze assolute) e quelli abiotici relativi ai parametri chimico-fisici ed ai contaminanti, sono stati analizzati mediante tecniche univariate e multivariate. Per le analisi sono stati usati i seguenti software: PAST 2.17c package (Øyvind Hammer, Natural History Museum, University of Oslo) and Infostat v.2014 (<http://www.infostat.com.ar/>).

2.3.1 INDICI DI DIVERSITÀ

Sono stati calcolati i principali indici di biodiversità : la diversità di Shannon-Wiener (H'), la ricchezza di Margalef (d), l'indice di equipartizione (*evenness*) di Pielou (J), secondo le seguenti formule:

Shannon-Wiener index: $H' = - \sum p_i \ln p_i$

È un indice che considera, sia il numero delle specie (S), sia la loro frequenza (abbondanza relativa) p_i all'interno della comunità. Questo Indice può variare da 0 per comunità costituite da un'unica specie (assenza di diversità) ad un massimo che dipende dal numero di specie riscontrate e dal loro grado d'equipartizione. In generale, l'indice è compreso tra 1,5 e 3,5 e raramente supera il valore di 4,5 [17].

Margalef's richness index: $d = (S-1) / \ln(n)$

È un indice che dipende dalla numerosità dei taxa presenti nella comunità ed aumenta all'aumentare della ricchezza in taxa, dove S è il numero totale delle specie; n il numero totale degli individui.

Pielou's evenness index: $J = H'/H'_{\max}$

Il valore massimo di questo indice è pari ad 1 quando tutte le specie del campione sono equamente rappresentate dallo stesso numero di individui, quindi comunità ben equipartite corrispondenti a valori di H' vicini alla diversità massima teorica (H'_{\max}) per un dato numero di specie.

È stato, inoltre, calcolato anche un indice specifico per i protozoi ciliati noto come il “C/P index” che misura il rapporto tra specie a selezione r (colpoda) e specie a selezione K (polimenofora). Il rapporto fornisce un'indicazione sulla idoneità dell'habitat suolo per i protozoi ciliati. Valori uguali o superiori ad 1 indicano habitat meno idonei (condizioni variabili) alla sopravvivenza della comunità dei ciliati (e dominanza dei colpoda) mentre valori inferiori ad 1 indicano, generalmente, ambienti maggiormente idonei (condizioni stabili). Con il termine specie intermedie si vuole indicare altre specie diverse da colpoda e polimenofora (4). Per ognuno dei 4 siti monitorati è stato calcolato un C/P index complessivo sulla base delle specie dominanti (identificate mediante analisi della similarità percentuale SIMPER, vedi paragrafo successivo Materiali e Metodi) presenti in ciascun sito.

2.3.2 ANALISI STATISTICHE

La matrice delle abbondanze è stata utilizzata per le analisi statistiche univariate e multivariate. Le analisi multivariate (ANOSIM, SIMPER, PCA, CCA e GPA) sono state effettuate sulle base delle matrici di distanze Euclidee dei singoli campioni, ottenuta a partire dai dati di abbondanze preventivamente trasformate con radice quadrata [18]. L'analisi SIMPER (SIMilarity PERcentage) consente di calcolare la dissimilarità media di campioni (siti/punti) appartenenti a gruppi diversi che sono definiti *a priori* e nel contempo, di estrapolare il contributo dato da ciascun taxon. Questo test pertanto è utile al fine di mettere in evidenza quei taxa che sono maggiormente responsabili delle differenze evidenziate tra due o più gruppi di (siti/punti). Il test ANOSIM (ANalysis Of SIMilarities) è una tecnica non-parametrica che consente di verificare se le differenze fra due o più gruppi di osservazioni multivariate sono significative o meno [19]. La PCA (Principal Component Analysis) costituisce una tecnica di ordinamento molto usata in ecologia, che consente di rappresentare un insieme di dati in un numero ridotto di dimensioni (Principal Component, PC) attraverso una rotazione degli assi dello spazio multidimensionale in modo da orientarli coerentemente con i *pattern* di

dispersione dei dati stessi [20]. La CCA (Canonical Correspondence Analysis) è una tecnica multivariata che consente di evidenziare le relazioni tra le comunità biotiche ed il loro ambiente [21]. La GPA (Generalized Procrustes Analysis) è una tecnica che consente mediante delle trasformazioni (es. rotazioni, traslazioni, dimensionamenti) di identificare la configurazione di consenso tra due (o più) matrici di dati [22]. È una tecnica alquanto potente per identificare eventuali associazioni tra matrici diverse in particolare quando il numero delle osservazioni è elevato [23].

3. Risultati e Discussione

3.1 Composizione tassonomica e C/P Index

3.1.1 L'IMPIANTO DI TRATTAMENTO E

TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI DI PARONA (PV)

L'analisi relativa allo studio della composizione tassonomica del sito di Parona (P) ha consentito di identificare per gli 8 punti campionati, un totale di **58** specie di protozoi ciliati, rappresentanti **29** generi e **12** ordini (*Stichotrichida*, *Euplotida*, *Sporadotrichida*, *Urostylida*, *Heterotrichida*, *Armophorida*, *Haptorida*, *Sessilida*, *Colpodida*, *Cyrtolophosidida*, *Microthoracida*, *Chlamydodontida*) (vedi Figura 14 per un riassunto della composizione tassonomica di ciascun sito). L'analisi SIMPER ha messo in evidenza le 17 specie che forniscono un contributo cumulativo pari a circa il 72% alle comunità di ciliati presenti nel sito di Parona e che per tale motivo sono state definite come “dominanti” ed utilizzate per le successive analisi multivariate (Figura 5). Nel *rank* delle 17 specie dominanti sono presenti 3 sole specie a selezione r : *Colpoda* sp., *C. inflata* e *C. cucullus* rispettivamente in 3°, 4° e 10° posizione e con un contributo totale pari a circa il **14,5 %**. Le altre 14 posizioni sono occupate da specie a strategia K oltreché da specie con strategie intermedie. Sulla base della lista delle specie dominanti è stato calcolato un C/P index complessivo del sito di Parona pari a 0,37. Da segnalare che la 1° posizione della classifica (*rank*) è occupata dal ciliato oligotrico *Halteria sp1*, un ciliato comune in ambienti acquatici e importante consumatore di batteri, con un contributo elevato pari al 15%. Inoltre, tra le specie dominanti del sito di Parona compaiono anche 2 specie di *Metopus spp* con un contributo complessivo del 6,4%. Quest'ultimo ciliato essendo un anaerobio obbligato (manca di mitocondri), è da considerarsi come un indicatore di condizioni di anossia del terreno. La presenza consistente di entrambe le specie è da mettere in relazione con il tipo di coltura dominante del sito di Parona: la risicoltura. Questo tipo di coltura necessita, infatti, di terreni con un elevato tenore di umidità e che in rapporto alle varie fasi culturali, sono periodicamente allagati.

Taxon	Contrib. %	Cumulative %	Rank
Halteria_sp1	15	15	1
Spathidium_sp7	9.32	24.32	2
Colpoda_sp*	5.89	30.21	3
Colpoda_inflata*	5.646	35.85	4
Metopus_sp2	4.27	40.12	5
Dileptus_sp	4.012	44.13	6
Spathidium_sp2	3.492	47.63	7
Oxytricha_sp1	2.982	50.61	8
Perisincirra_sp1	2.963	53.57	9
Colpoda_cucullus*	2.937	56.51	10
Sterkiella_tricirrata	2.856	59.37	11
Spathidium_sp5	2.643	62.01	12
Metopus_sp1	2.105	64.11	13
Oxytricha_sp4	1.945	66.06	14
Blepharisma_sp1	1.913	67.97	15
Oxytricha_balladyna	1.864	69.84	16
Spathidium_sp3	1.803	71.64	17

Figura 5. Le 17 specie dominanti del sito di Parona.

3.1.2 IL SITO DI INTERESSE NAZIONALE (SIN) BRESCIA

L'analisi relativa allo studio della composizione tassonomica del sito di Interesse Nazionale (SIN) Brescia (S) ha consentito di identificare per gli 8 punti campionati, un totale di **46** specie di protozoi ciliati, rappresentanti **20** generi e **10** ordini (*Stichotrichida*, *Sporadotrichida*, *Urostylida*, *Heterotrichida*, *Armophorida*, *Haptorida*, *Colpodida*, *Cyrtolophosidida*, *Microthoracida*, *Chlamyododontida*) (vedi Figura 14 per un riassunto della composizione tassonomica di ciascun sito). L'analisi SIMPER ha messo in evidenza le 12 specie che forniscono un contributo cumulativo pari a circa il 73% alle comunità di ciliati presenti nel sito SIN Brescia e che per tale motivo sono state definite come "dominanti" ed utilizzate per le successive analisi multivariate (Figura 6). È, inoltre, da mettere in evidenza che nel *rank* delle 12 specie dominanti le prime 5 posizioni sono occupate da specie a selezione *r* con un contributo totale pari a circa il **51 %**. Sulla base della lista delle specie dominanti è stato calcolato un *C/P index* complessivo del sito SIN Brescia pari a 1.

3.1.3 L'IMPIANTO DI RIGENERAZIONE DEGLI OLI ESAUSTI "VISCOLUBE" DI PIEVE FISSIRAGA (LO)

L'analisi relativa allo studio della composizione tassonomica del sito di Pieve Fissiraga (V) ha consentito di identificare per gli 8 punti campionati, un totale di **49** specie di protozoi ciliati, rappresentanti **23** generi e **12** ordini (*Stichotrichida*, *Euplotida*, *Sporadotrichida*, *Urostylida*, *Heterotrichida*, *Armophorida*, *Haptorida*, *Sessilida*, *Colpodida*, *Cyrtolophosidida*, *Microthoracida*, *Chlamyododontida*) (vedi Figura 14 per un riassunto della composizione tassonomica di ciascun sito). L'analisi SIMPER ha messo in evidenza le 11 specie che forniscono un contributo cumulativo pari a circa il 67% alle comunità di ciliati presenti nel sito di Pieve Fissiraga e che per tale motivo sono state definite come "dominanti" ed

utilizzate per le successive analisi multivariate (Figura 7). Nel *rank* delle 11 specie dominanti sono presenti 5 specie a selezione *r*: *Bresslauides* sp., *Colpoda inflata*, *Colpoda* sp., *C. cucullus* e *C. steinii* rispettivamente in 3°, 4°, 7°, 9° e 11° posizione e con un contributo totale pari a circa il **19,2 %**. Sulla base della lista delle specie dominanti è stato calcolato un *C/P index* complessivo del sito Viscolube pari a 0,83. Le prime due posizioni del *rank* sono occupate da due specie di *Halteria*, con un contributo cumulativo pari al 34,67%. Inoltre, anche nel sito Viscolube oltre che in quello di Parona, è da segnalare la presenza di *Metopus* sp. indicante condizioni di anossia del terreno.

Taxon	Contrib. %	Cumulative %	Rank
Colpoda_inflata*	18.9	18.9	1
Colpoda_cucullus*	10.43	29.33	2
Colpoda_sp*	10.09	39.42	3
Colpoda_steinii*	6.187	45.6	4
Bresslauides_sp*	5.314	50.92	5
Cyrtohymena_quadriucleata	5.126	56.04	6
Gonostomum_affine	4.671	60.72	7
Bakuella_granulifera	2.929	63.64	8
Notohymena_sp	2.464	66.11	9
Spathidium_sp5	2.259	68.37	10
Cyrtohymena_sp	2.167	70.53	11
Sterkiella_tricirrata	2.162	72.7	12

Figura 6. Le 12 specie dominanti del sito Sin Brescia.

Taxon	Contrib. %	Cumulative %	Rank
Halteria_sp1	27.46	27.46	1
Halteria_sp2	7.21	34.67	2
Bresslauides_sp*	6.503	41.17	3
Colpoda_inflata*	4.807	45.98	4
Blepharisma_sp1	4.677	50.66	5
Metopus_sp1	3.09	53.75	6
Colpoda_sp*	2.863	56.61	7
Euplotes_sp	2.66	59.27	8
Colpoda_cucullus*	2.581	61.85	9
Oxytricha_sp3	2.405	64.26	10
Colpoda_steinii*	2.319	66.58	11

Figura 7. Le 11 specie dominanti del sito Viscolube.

3.1.4 IL CEMENTIFIO DI BRONI (PV)

L'analisi relativa allo studio della composizione tassonomica del sito di Broni (IT) ha consentito di identificare per i 6 punti campionati, un totale di **41** specie di protozoi ciliati, rappresentanti **18** generi e **9** ordini (*Stichotrichida*, *Euplotida*, *Sporadotrichida*, *Urostylida*, *Armophorida*, *Haptorida*, *Colpodida*, *Cyrtolophosidida*, *Chlamyododontida*) (vedi Figura 14 per un riassunto della composizione tassonomica di ciascun sito). L'analisi SIMPER ha messo in evidenza le 10 specie che forniscono un contributo cumulativo pari a circa il 72% alle comunità di ciliati presenti nel

sito Italcementi e che per tale motivo sono state definite come “dominanti” ed utilizzate per le successive analisi multivariate (Figura 8).

Taxon	Contrib. %	Cumulative %	Rank
Colpoda_inflata*	25.97	25.97	1
Oxytricha_sp1	10.91	36.88	2
Colpoda_cucullus*	5.471	42.35	3
Colpoda_sp*	5.425	47.78	4
Halteria_sp1	5.052	52.83	5
Platyophyra_sp*	5.017	57.84	6
Colpoda_steinii*	4.165	62.01	7
Bresslauides_sp*	3.893	65.9	8
Gonostomum_sp2	3.758	69.66	9
Spathidium_sp1	2.323	71.98	10

Figura 8. Le 10 specie dominanti del sito Italcementi.

Nel *rank* delle 10 specie dominanti sono presenti 6 specie a selezione *r* che occupano la 1°, 3°, 4°, 6°, 7° e 8° posizione con un contributo totale pari al **49,9%**. Sulla base della lista delle specie dominanti è stato calcolato un *C/P index* complessivo del sito Italcementi pari a 2, il più elevato tra i *C/P index* rilevati nei 4 siti lombardi.

3.2 Variazione spaziale del numero delle specie, abbondanze e Indici di Biodiversità

3.2.1 L' IMPIANTO DI TRATTAMENTO E TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI DI PARONA (PV)

Nel sito di Parona sono state identificate 58 specie la cui distribuzione e abbondanza per ciascuno degli 8 punti di campionamento (P1-P4; P9-P12), è indicata in Figura 9. Inoltre, sono anche riportate le indicazioni relative all'uso del suolo, le distanze e l'orientamento dei singoli punti di campionamento rispetto alla centrale di Parona (Figura 2). All'epoca del campionamento, la maggior parte delle coltivazioni del sito di Parona presentavano a riso (5), seguite da coltivazioni di soia (2) e da un'unica coltivazione a mais. Il maggior numero di specie ($S=35$) è stato rinvenuto nel sito P4 mentre i numeri più bassi ($S=16$) sono stati riscontrati nei siti P9 e P10. Le abbondanze più elevate superiori ai 5000 ind. mL⁻¹ di percolato di suolo, sono state riscontrate nei punti P4 e P10, mentre quelle meno elevate nel sito P9 ($n=580$). Il grafico di Figura 10 mostra la distribuzione spaziale relativa alla diversità (H'), ricchezza (d) ed equipartizione (J) delle comunità dei protozoi ciliati nel sito di Parona, oltrechè degli altri siti. I valori più elevati di H' , d e J sono riscontrabili rispettivamente nei punti P11, P4 e P9. Il punto P12 coltivato a mais presenta i valori più bassi di H' e di J .

	P1	P2	P3	P4	P9	P10	P11	P12
Species number S	26	30	23	35	16	16	28	17
Ind. mL ⁻¹ soil percolate	1048	4574	2030	5535	580	5651	1778	2272
Shannon H'	2.594	2.392	2.672	2.96	2.62	2.375	2.983	1.779
Margalef d	4.7	4.252	3.663	4.852	3.15	2.133	4.257	2.614
evenness J'	0.7962	0.7032	0.8523	0.8326	0.945	0.8567	0.8953	0.6279
Land use	rice	rice	soy	rice	rice	soy	rice	mais
Direction	North	East	South	West	North	East	South	West
Distance (m)	500	500	500	500	2000	2000	2000	2000

Figura 9. Ricchezza in specie, abbondanze e Indici di diversità del sito di Parona.

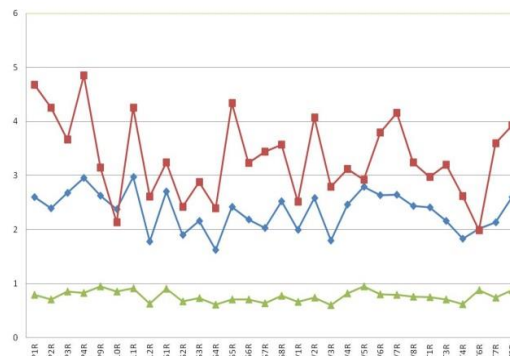


Figura 10. Distribuzione spaziale degli Indici di diversità nei 30 punti di campionamento.

3.2.2 IL SITO DI INTERESSE NAZIONALE (SIN) BRESCIA

Nel sito SIN Brescia sono state identificate 46 specie la cui distribuzione e abbondanza per ciascuno degli 8 punti di campionamento (S1-S8), è indicata nella Figura 11.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Species number S	20	17	19	14	31	22	24	26
Ind. mL ⁻¹ soil percolate	1760	3735	2584	1134	5016	3323	4000	5524
Shannon H'	2.707	1.899	2.16	1.625	2.413	2.18	2.044	2.529
Margalef d	3.24	2.418	2.881	2.396	4.34	3.23	3.443	3.568
evenness J'	0.9037	0.6704	0.7336	0.6158	0.7026	0.7054	0.6433	0.7763
Land use	Uncultivated	Uncultivated	Uncultivated	Uncultivated	Uncultivated	Uncultivated	Urban lawn	Uncultivated
Direction	South	South	South-East	West	West	West	North-West	North

Figura 11. Ricchezza in specie, abbondanze e Indici di diversità del sito SIN Brescia.

Inoltre, sono anche riportate le indicazioni relative all'uso del suolo e l'orientamento dei singoli punti di campionamento rispetto ad un capannone industriale indicato (cerchiato in rosso) in Figura 2. Tutti e 8 i punti di prelievo dei campioni di suolo ricadono all'interno della perimetrazione dell'area del SIN (Sito di Interesse Nazionale) “Brescia-Caffaro, matrice suolo” entro la quale vige il divieto di coltivazione, scavo, pascolo ed attività similari. Pertanto, tutti i punti di prelievo con la sola eccezione del punto S7 che è classificato come prato urbano, sono classificati come non-cultivati (Figura 11). Il maggior numero di specie ($S=31$) è stato rinvenuto nel sito S5 che insieme al sito S8 registra anche le abbondanze maggiori (>5000 ind. mL⁻¹ di percolato di suolo). Il sito S4, al contrario, registra il minor numero di specie ($S=14$) e la minore

abbondanza. Il grafico di Figura 10 mostra la distribuzione spaziale relativa alla diversità (H'), ricchezza (d) ed equipartizione (J) delle comunità dei protozoi ciliati nel sito SIN Brescia, oltreché degli altri siti. Il punto S1 presenta i valori più elevati di H' e J ed il punto S5 il valore maggiore di ricchezza di specie d . Il punto S4 presenta i valori più bassi di H' , d e J .

3.2.3 L'IMPIANTO DI RIGENERAZIONE DEGLI OLI ESAUSTI "VISCOLUBE" DI PIEVE FISSIRAGA (LO)

Nel sito di Pieve Fissiraga "Viscolube" sono state identificate 49 specie le cui distribuzioni ed abbondanze per ciascuno degli 8 punti di campionamento (V1-V8), sono indicate nella Figura 12.

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
Number of species	20	33	20	20	19	27	28	25
Ind. ml ⁻¹ soil percolate	9440	12960	4528	2220	2368	4698	3292	8154
Shannon H'	1.997	2.589	1.806	2.457	2.798	2.626	2.639	2.434
Margalef d	2.519	4.071	2.791	3.117	2.921	3.797	4.161	3.244
evenness J	0.6665	0.7403	0.6027	0.8202	0.9503	0.7968	0.792	0.7561
Land use	Permanent pasture	permanent pasture	mais	pasture	wheat	mais	permanent pasture	permanent pasture
Distance (m)	1000	1000	1000	1000	500	500	500	500
Direction	North	East	South	West	North	East	South	West

Figura 12. Ricchezza in specie, abbondanze e Indici di diversità del sito Viscolube.

Inoltre, sono anche riportate le indicazioni relative all'uso del suolo, le distanze e l'orientamento dei singoli punti di campionamento rispetto all'impianto di rigenerazione degli oli esausti Viscolube (Figura 2). La maggior parte delle coltivazioni del sito Viscolube sono medicaie (5), seguite da coltivazioni di mais (2) ed un'unica coltivazione a grano. Il maggior numero di specie ($S=33$) è stato rinvenuto nel punto V2 che registra anche le abbondanze maggiori (>12.000 ind. mL⁻¹ di percolato di suolo). I punti V4 e V5 oltre a presentare i numeri minori di specie (V4, $S=20$ e V5, $S=19$) presentano anche le abbondanze più basse (circa 2000 ind. mL⁻¹ di percolato di suolo). Il grafico di Figura 10 mostra la distribuzione spaziale relativa alla diversità (H'), ricchezza (d) ed equipartizione (J) delle comunità dei protozoi ciliati nel sito Viscolube, oltreché degli altri siti. Il punto V5 presenta i valori più elevati di H' e J ed il punto V2 il valore maggiore di ricchezza di specie d . Il punto V1 presenta i valori più bassi di d e J .

3.2.4 IL CEMENTIFIO DI BRONI (PV)

Nel sito di Broni Italcementi sono state identificate 41 specie le cui distribuzioni ed abbondanze per ciascuno dei 6 punti di campionamento (IT1; IT3-4; IT6-7; IT9), sono indicate nella Figura 13.

	IT1	IT3	IT4	IT6	IT7	IT9
Species number S	25	21	19	10	18	19
Ind. ml ⁻¹ soil percolate	3175	518	964	92	113	98
Shannon H'	2.412	2.16	1.835	2.017	2.138	2.598
Margalef d	2.977	3.2	2.62	1.99	3.596	3.926
evenness J	0.7493	0.7094	0.6231	0.8761	0.7397	0.8824
Land use	permanent pasture	permanent pasture	wheat	permanent pasture	permanent pasture	permanent pasture
Distance (m)	500	1500	500	1500	500	1500
Direction	North-East	North	North	North-West	South-West	South-West

Figura 13. Ricchezza in specie, abbondanze e Indici di diversità del sito Italcementi.

Inoltre, sono riportate anche le indicazioni relative all'uso del suolo, le distanze e l'orientamento dei singoli punti di campionamento rispetto al cimiterio (Figura 2). All'epoca del campionamento, la maggior parte delle coltivazioni del sito Italcementi si presentavano come medicaie (5), fatta eccezione per il punto IT4 coltivato a grano (IT4). Il maggior numero di specie ($S=25$) è stato rinvenuto nel punto IT1 che registra anche le abbondanze maggiori (>3000 ind. mL⁻¹ di percolato di suolo). Il punto IT6 presenta il numero minore di specie ($S=10$) oltreché l'abbondanza più bassa (circa 90 ind. mL⁻¹ di percolato di suolo). Il grafico di Figura 10 mostra la distribuzione spaziale relativa alla diversità (H'), ricchezza (d) ed equipartizione (J) delle comunità dei protozoi ciliati nel sito Italcementi, oltreché degli altri siti. Il punto IT9 presenta i valori più elevati di H' , d e J . Il punto IT4 presenta i valori più bassi di H' e J mentre il punto IT6 il valori più basso di d .

3.3 Confronto tra i 4 siti di campionamento: composizione tassonomica, diversità, indice C/P e loro variazione spaziale

La Figura 14 riassume la composizione tassonomica dei 4 siti monitorati (Parona, Viscolube, SIN Brescia e Italcementi).

Sampling sites	Species	Genus	Family	Order	Class
P (termovalorizzatore)	58	29	19	12	7
V (viscolube)	49	23	17	12	7
IT (italcementi)	41	18	13	9	5
S (SIN Brescia)	46	20	15	10	5
*****	*****	*****	*****	*****	*****
Total	66	30	19	12	7

Figura 14. Composizione tassonomica nei 4 siti.

In totale sono state identificate **66** specie appartenenti a **30** generi, **12** ordini e **7** classi e non sono riportate le specie non identificate ($n=6$) e quelle "nuove" per la scienza ($n=7$) cioè mai descritte prima e identificate per lo più nel sito di Parona. Il maggior numero di specie ($S=58$) sono state identificate nel sito di Parona, il numero più basso ($S=41$) nel sito Italcementi. L'analisi SIMPER, applicata alla matrice totale delle abbondanze per i 4 siti, evidenzia 15 specie dominanti (Figura 15).

Taxon	Contrib. %	Cumulative %	Rank
Halteria_sp1	14.76	14.76	1
Colpoda_inflata*	13.88	28.64	2
Colpoda_cucullus*	5.365	34	3
Colpoda_sp*	5.066	39.07	4
Bresslauides_sp*	4.081	43.15	5
Oxytricha_sp1	3.875	47.02	6
Colpoda_steinii*	2.839	49.86	7
Spathidium_sp7	2.415	52.28	8
Halteria_sp2	2.369	54.65	9
Blepharisma_sp1	2.267	56.91	10
Platyophya_sp*	2.019	58.93	11
Gonostomum_affine	2.001	60.93	12
Dileptus_sp	1.877	62.81	13
Metopus_sp1	1.864	64.67	14
Spathidium_sp2	1.574	66.25	15

Figura 15. Le 15 specie dominanti dei 4 siti.

Tra le specie dominanti sono presenti *Halteria spp* con un contributo cumulativo pari a circa il 17% (*Halteria sp1* occupa la 1° posizione della classifica) e *Metopus sp1* (14° posizione). Le specie a selezione *r* sono 6 in totale con un contributo cumulativo pari al **33,25%**. La Figura 10 mostra la distribuzione spaziale degli indici di diversità (H'), di ricchezza (d) e di equipartizione (J) relativi alle comunità dei protozoi ciliati per ciascuno dei 30 punti totali analizzati tra i 4 siti. Questi indici sono comunemente usati per analisi a livello di comunità e, in generale, più sono elevati migliore è la qualità ambientale (Magurran, 1991). Nella nostra analisi, il sito di Parona (ad eccezione dei siti P10 e P12), presenta valori medi di diversità ($H' = 2,55$), ricchezza ($d = 3,7$) ed equipartizione ($J = 0,82$) più elevati rispetto ai corrispondenti valori medi dei siti Viscolube ($H' = 2,4$, $J = 0,77$, $d = 3,3$), SIN Brescia ($H' = 2,2$, $J = 0,72$, $d = 3,2$) e Italcementi ($H' = 2,2$, $J = 0,76$, $d = 3,05$). La significatività delle differenze spaziali nell'andamento degli Indici H' , d e J intesi come parametri strutturali delle comunità, è stata verificata mediante il test non parametrico di Kruskal-Wallis per l'ANOVA. Da queste analisi non sono emerse, tuttavia, differenze statisticamente significative (Kruskal-Wallis $p > 0,05$) anche se è possibile evidenziare un andamento costante (una classifica) per i 4 siti: **P>V>IT & S** (Figura 16). Questa classifica è anche sostenuta dall'Indice C/P specifico per i ciliati, che con valori inferiori a 1 per Parona ($C/P = 0,38$) e per Viscolube ($C/P = 0,83$) evidenzia come questi siti costituiscano ambienti più idonei per le comunità dei ciliati rispetto a quelli dei siti SIN Brescia ($C/P = 1$) e Italcementi ($C/P = 2$) (Figura 16).

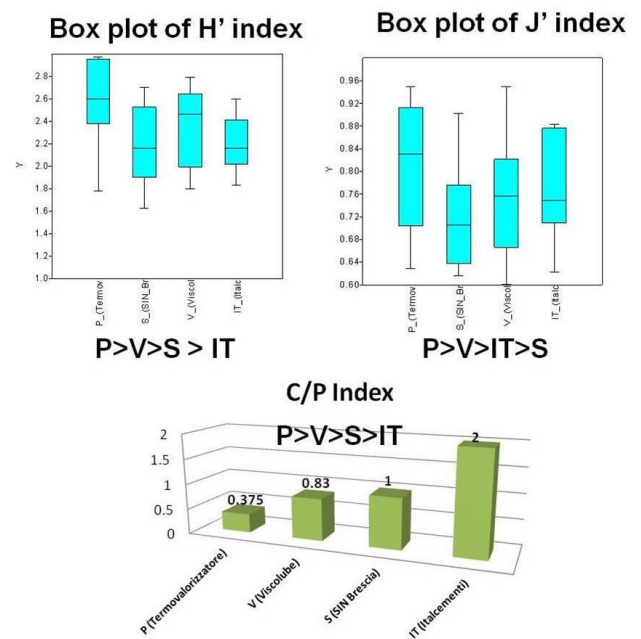


Figura 16. Un confronto tra i siti: Indici di diversità e C/P index.

Un inquadramento di sintesi della struttura delle comunità di ciliati e della loro variazione spaziale nei 30 punti totali campionati nei 4 siti è stato ottenuto mediante un'Analisi delle Componenti Principali (PCA) come mostrato in Figura 17.

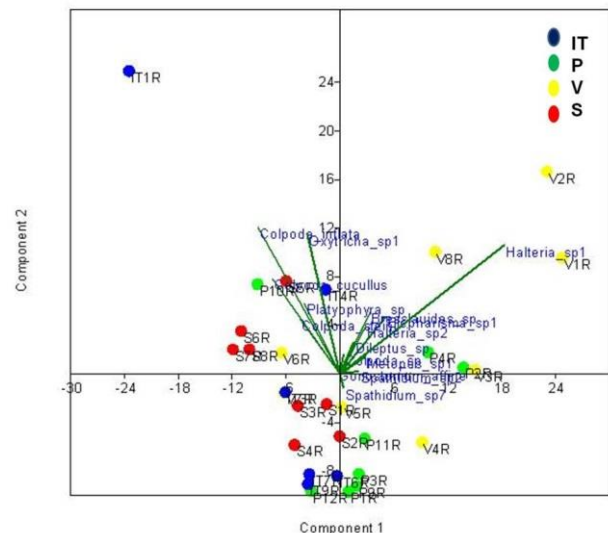


Figura 17. PCA, biplot di ordinamento relativo alla distribuzione spaziale dei ciliati nei 4 siti.

Il biplot dei dati relativi alle abbondanze delle specie dominanti è stato ottenuto mediante trasformazione con radice quadrata dei dati ed usando una matrice di distanze Euclidee. La PCA spiega il 58% della varianza

totale, di cui il 35% è spiegata dalla prima componente (PC1) ed il 23% dalla seconda (PC2). La PCA conferma le differenze evidenziate nelle precedenti analisi univariate mostrando una separazione (discriminando) tra i 4 siti in relazione alla loro composizione tassonomica ed abbondanze. In particolare, da questo ordinamento si osserva come la maggior parte dei punti di campionamento relativi ai siti di Parona (verde) e Viscolube (giallo) risultino separati dai punti di campionamento relativi ai siti di Italcementi (blu) e SIN Brescia (rosso). Le specie che caratterizzano i siti sono *Halteria sp1* per Parona e Viscolube e *Colpoda cucullus* e *C. inflata* per Italcementi e SIN Brescia. L'analisi di similarità (ANOSIM) applicata con l'intento di verificare la consistenza delle differenze emerse tra i 4 siti rivela come esse siano statisticamente significative (Global test $R=0,2$; $p=0,002$). Inoltre, i relativi confronti multipli evidenziano differenze significative per ogni coppia ($p < 0,05$) con la sola eccezione della coppia Parona vs Viscolube ($p=0,22$) che risultano, pertanto, essere dei siti molto simili per composizione tassonomica ed abbondanze.

3.4 Interazione tra le comunità dei protozoi ciliati e i parametri abiotici

Nell'ambito del progetto *Soil mapping Lombardia* grazie all'attività dell'Unità Operativa dell'Università Cattolica del Sacro Cuore (UNICATT), sono stati misurati un numero elevato di parametri abiotici, suddivisibili per comodità di trattazione in chimico-fisici (tessitura, C/N, SO ecc) e contaminanti (metalli pesanti come Hg, Cd ed altri inorganici). Al fine di caratterizzare i suoli dei 4 siti (P, V, SIN e IT) sulla base sia delle loro caratteristiche chimico-fisiche che in relazione alla presenza/contenuto di contaminanti si è applicata la PCA. I *biplot* dei dati relativi alle caratteristiche chimico-fisiche e dei contaminanti sono stati ottenuti mediante trasformazione logaritmica e normalizzazione usando matrici di distanze Euclidee. La PCA di Figura 18 evidenzia come i 4 siti sono ben discriminati principalmente sulla base della loro tessitura: Parona e Viscolube presentano suoli a tessitura sabbiosa e franco-sabbiosa; Italcementi e SIN Brescia suoli a tessitura franco-limoso-argillosa e franca. La PCA spiega il 68% della varianza totale, di cui il 51% è spiegata dalla prima componente (PC1) ed il 17% dalla seconda (PC2). L'analisi di similarità (ANOSIM) rivela differenze statisticamente significative tra i siti (Global test $R=0,85$; $p=0,0001$) e per ogni coppia di siti ($p < 0,05$). La PCA di Figura 19 mostra come, anche sulla base della composizione/contenuto dei contaminanti, sia possibile discriminare i 4 siti e con un pattern simile a quello identificato in precedenza per i parametri chimico-fisici.

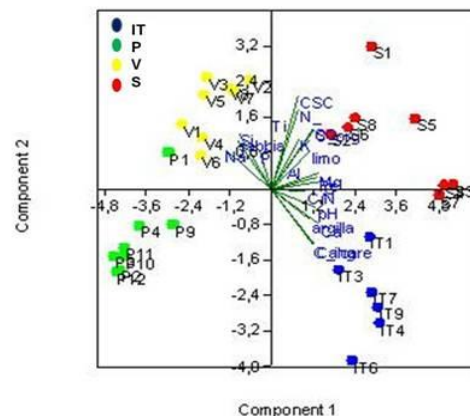


Figura 18. PCA, *biplot* di ordinamento dei parametri chimico-fisici nei 4 siti

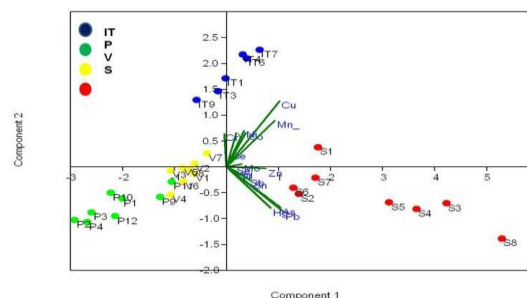


Figura 19. PCA, *biplot* di ordinamento dei contaminanti nei 4 siti

Il *biplot* dei contaminanti in Figura 19 mette in evidenza come i relativi vettori siano diretti principalmente verso i siti SIN Brescia. La PCA spiega l'89% della varianza totale, di cui il 71% è spiegata dalla prima componente (PC1) ed il 18% dalla seconda (PC2). L'analisi di similarità (ANOSIM) rivela differenze statisticamente significative tra i siti (Global test $R=0,95$; $p=0,0001$) e per ogni coppia di siti ($p < 0,05$).

Al fine di identificare eventuali parametri abiotici maggiormente coinvolti nella strutturazione delle comunità di protozoi ciliati fino ad ora identificate, è stata applicata un'Analisi delle Corrispondenze Canoniche (CCA). Per l'analisi sono state utilizzate le matrici dei dati biotici relative alle abbondanze delle specie previa trasformazione con radice quadrata e quelle relative ai parametri abiotici (chimico-fisici e contaminanti) previa trasformazione logaritmica e normalizzazione. La Figura 20 mostra il *biplot* di ordinamento per i 30 punti campionati nei 4 siti. L'ordinamento della CCA, rispetto alla distribuzione dei punti di campionamento e delle specie, è simile a quello della PCA di Figura 17 ottenuta con i soli dati

biotici ed è, inoltre, sovrapponibile con le PCA riferite ai parametri chimico-fisici e dei contaminanti. In particolare, nel diagramma di ordinamento della CCA, tutte le specie caratterizzanti i siti di Parona e Viscolube appartengono a specie a selezione *K* o intermedia mentre, le specie caratterizzanti i siti di Italcementi e SIN Brescia, sono principalmente specie opportuniste a selezione *r*.

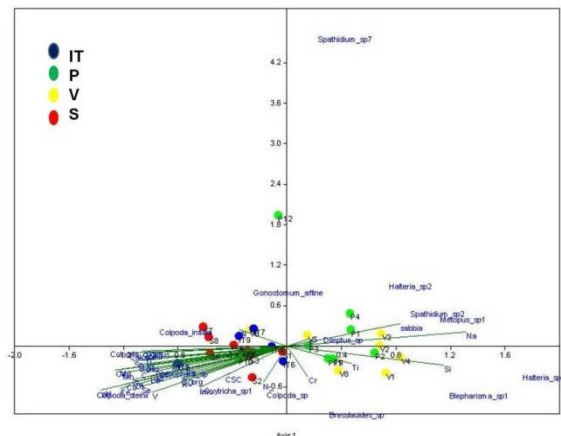


Figura 20. CCA, biplot di ordinamento relativo alle relazioni tra le specie dei ciliati e i parametri abiotici (chimico-fisici e contaminanti nei 4 siti).

L'analisi di CCA riconferma, pertanto, la minore idoneità di quest'ultimi 2 siti per le comunità dei ciliati denotando maggiori condizioni di instabilità almeno per il bioindicatore usato, i protozoi ciliati. Un'ulteriore analisi, la "Generalized Procrustes Analysis" (GPA) è stata successivamente effettuata per valutare il grado di accordo (consenso) tra le tre matrici di dati (biotici: abbondanze ciliati; abiotici: parametri chimico-fisici e contaminanti) e per identificare, inoltre, quale componente abiotica (parametri chimico-fisici, contaminanti) potesse, eventualmente, contribuire maggiormente (o egualmente partecipare) alla strutturazione delle comunità di protozoi ciliati nei 4 siti oggetto del monitoraggio. L'output finale della GPA è una configurazione di consenso che viene ottenuta mediante un processo di trasformazione (es. rotazioni, traslazioni, ridimensionamenti) a partire dalle matrici di dati originali. La Figura 21 mostra la figura di consenso ottenuta dalla sovrapposizione delle tre matrici biotiche ed abiotiche. Il consenso totale per la configurazione è eccellente (0,917) ed anche i valori delle contribuzioni di ciascuna matrice (Ciliati: 0,956; Chimico-fisici: 0,948; Contaminanti: 0,838) al consenso totale. La GPA indica che entrambe le componenti abiotiche (chimico-fisiche e contaminanti) contribuiscono in maniera sostanzialmente egualitaria alla strutturazione delle comunità dei protozoi ciliati nei diversi siti. In sintesi, le variazioni rilevate nella composizione quali-quantitativa delle comunità dei

ciliati sono correlate con entrambe le componenti abiotiche: parametri chimico-fisici (in particolare la tessitura) ed i contaminanti.

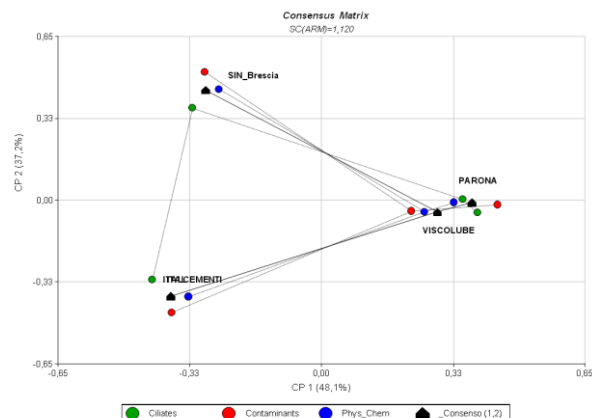


Figura 21. GPA, figura di consenso relativa alla sovrapposizione delle matrici abiotiche (ciliati) e abiotiche (parametri chimico-fisici e contaminanti).

4. Conclusioni

L'obiettivo primario dell'attività svolta dall'Unità Operativa dell'Università di Camerino (UNICAM) è stato quello di caratterizzare (qualitativamente e quantitativamente) la struttura di comunità dei protozoi ciliati in 4 siti industriali della regione Lombardia (il termovalorizzatore di Parona, Viscolube, SIN Brescia e Italcementi), al fine di trarne indicazione rispetto ai loro potenziali livelli di contaminazione. I risultati delle elaborazioni mediante tecniche univariate e multivariate, dei dati biotici quali-quantitativi (ciliati) e di quelli abiotici (parametri chimico-fisici e contaminanti), sono riassunti di seguito:

- L'analisi qualitativa ha consentito di identificare un totale di 73 specie appartenenti a 30 generi, 12 generi e 7 classi, incluse 12 "nuove" specie per la scienza, cioè mai descritte prima e identificate per lo più nel sito di Parona. A questo riguardo, la descrizione di una di queste nuove specie (*Gonostomum paronense*) è stata recentemente pubblicata mentre le altre sono ancora in corso di descrizione e saranno anch'esse dedicate alla regione Lombardia[24].
- Il sito di Parona presenta valori medi di diversità ($H' = 2,55$), ricchezza ($d = 3,7$) ed equipartizione ($J = 0,82$) più elevati rispetto ai corrispondenti valori medi dei siti Viscolube ($H' = 2,4$, $J = 0,77$, $d = 3,3$), SIN Brescia ($H' = 2,2$, $J = 0,72$, $d = 3,2$) e Italcementi ($H' = 2,2$, $J = 0,76$, $d = 3,05$).
- Relativamente all'Indice *C/P*, specifico per i ciliati e che misura il rapporto tra specie a selezione *r* (colpoda) e specie a selezione *K*

- (polimenofora), i siti maggiormente idonei per le comunità dei ciliati risultano essere quelli di Parona ($C/P= 0,38$) e Viscolube ($C/P= 0,83$), mentre i siti SIN Brescia ($C/P= 1$) e Italcementi ($C/P= 2$) risultano essere i meno idonei.
- La classe *Colpodea* domina le comunità dei ciliati nei siti SIN Brescia (contributo cumulativo pari al 51%) e Italcementi (49,9%) mentre il suo contributo è nettamente inferiore nei siti di Parona (14,5%) e Viscolube (19,2%). Questa classe di protozoi ciliati essenzialmente legati ad habitat terrestri, comprende specie opportunistiche a selezione r che si sono dimostrate essere più tolleranti all'inquinamento rispetto alle specie a selezione K e che, pertanto, possono essere considerati come buoni indicatori della presenza di contaminazione/disturbo al suolo [9].

- Nel loro insieme le analisi multivariate (PCA, CCA e GPA) che hanno valutato anche il contributo dei parametri ambientali nello strutturare le comunità dei protozoi ciliati nei siti, confermano e rafforzano le conclusioni delle analisi univariate e mettono in evidenza il potenziale bioindicativo delle comunità dei ciliati nell'individuare condizioni di contaminazione e disturbo dei suoli.

In conclusione sulla base dei risultati dell'indicatore "protozoi ciliati" è possibile stilare una classifica dei 4 siti (da quelli più idonei verso quelli meno idonei):
P>V>IT & S

Nel proseguo di questa attività, l'interfacciamento e condivisione dei dati biotici ed abiotici con le altre UO del progetto *Soil Mapping Lombardia*, contribuiranno a meglio descrivere la qualità/salute dei suoli della regione Lombardia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Finlay BJ: *Protozoa. Encyclopedia of Biodiversity* 4: 901–915., 2001.
- [2] Clarholm M: Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. “*Soil Biology and Biochemistry*”, 1985, n.17, p.181–187.
- [3] Clarholm M, Bonkowski M e Griffiths B: Protozoa and Other Protista in Soil. In *Modern Soil Microbiology*. CRC Press, USA, 2006.
- [4] Luftenegger G, Foissner W e Adam H: r- and k-selection in soil ciliates: a field and experimental approach. “*Oecologia*” 1985, n. 66, p. 574–579.
- [5] Sauvant MP, Pepin ND e Piccinni E: *Tetrahymena piriformis*. A tool for toxicological studies. A review. “*Chemosphere*” 1999, n. 38, p.1631-1669.
- [6] La Terza A, Barchetta S, Buonanno F, Ballarini P, Miceli C: Development and application of whole cell biosensors based on recombinant cell lines of ciliated protozoan *Tetrahymena thermophila* for ecotoxicity screening. In: Cenci RM e Sena F: *BIO-BIO project – Biodiversity-Bioindication to evaluate soil health*. 2006.
- [7] La Terza A, Barchetta S, Buonanno F, Ballarini P, Miceli C: The protozoan ciliate *Tetrahymena thermophila* as biosensor of sublethal levels of toxicants in the soil.” *Fresenius Environmental Bulletin*” 2008, n.8b, p.1144-1150.
- [8] Petz W e Foissner W: The effects of mancozeb and lindane on the soil microfauna of a spruce forest: a field study using a completely randomized block design. “*Biology and Fertility of Soils*” 1989, n.7, p. 225-231.
- [9] Lara E, Berney C, Harms H, Chatzinotas A: Cultivation-independent analysis reveals a shift in ciliate 18S rRNA gene diversity in a polycyclic aromatic hydrocarbon-polluted soil. “*FEMS Microbiology Ecology*” 2007, n.62, p. 365-373.
- [10] Foissner W: Soil protozoa as bioindicators in agroecosystems, with emphasis on farming practices, biocides and biodiversity. “*Agriculture, Ecosystem and Environment*” 1997, n.62, p. 93-103.
- [11] Foissner W: Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples. “*Agriculture Ecosystems & Environment*” 1999, n.74, p. 95-112.
- [12] Ekelund F, Olsson S e Johansen A: Changes in the succession and diversity of protozoan and microbial populations in soils spiked with a range of copper concentration. “*Soil Biology and Biochemistry*”, 2003, p. 1507-1516.
- [13] Foissner W: Estimating the species richness of soil protozoa using the “non-flooded Petri dish method”. In JJ Lee, AT Soldo, eds. “*Protocols in protozoology*”. Lawrence, KS: Allen Press, pp. B-10.1-10.2, 1992.
- [14] Kamra K e Sapra GR: Partial retention of parental ciliature during morphogenesis of the ciliate *Coniculostomum monilata* (Dragesco and Njiné 1971) Njiné 1978 (Oxytrichidae, Hypotrichida). “*European Journal of Protistology*”, 1990, n. 25, 264–278.
- [15] Lynn DH. e EB Small: Phylum Ciliophora. In JJ Lee, PC Bradbury, GF Leedale, eds.: *An illustrated guide to the protozoa*. Lawrence, KS: Society of Protozoologists, p. 371-656, 2002.
- [16] Lynn DH: *The ciliated protozoa, characterization, classification, and guide to the literature*. 3rd ed. London: Springer, 2008.
- [17] Margalef R: Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity.” *Trans. Connect. Acad. Arts Sci.*” 1972, n. 44, p. 211-235.
- [18] Clarke KR e Warwick RM: *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd ed. PRIMER-E, Plymouth, 2001.
- [19] Clarke KR: Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. “*Australian Journal of Ecology*” 1993, n. 18, p. 117-143.
- [20] Scardi M: Tecniche di analisi dei dati in ecologia. Dipartimento di Biologia, Università di Roma Tor Vergata. (www.mare-net.com/mscardi), 2009.
- [21] Braak CJF e Verdonschot PFM: Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. “*Aquatic Sciences*” , 1995, n.5, p. 255-289.
- [22] Gower JC: Statistical methods of comparing different multivariate analyses on the same data. In: Hodson FR, Kendall DG, Tautu P, eds. “*Mathematics in the archeological and historical sciences*”, Edinburgh University Press, Edinburgh. 138–14, 1971.
- [23] Peres-Neto PR e Jackson DA: How well do multivariate data sets match? The advantages of a Procrustean superimposition approach over the Mantel test “. *Oecologia*” , 2001, n. 129, 169–178.
- [24] Bharti D., Kumara S. e La Terza A.: Two Gonostomatic Ciliates from the Soil of Lombardia, Italy; including Note on the Soil Mapping Project. “. *Journal of Eukaryotic Microbiology*” , 2015, n. 0, 1–11.

Capitolo X: Valutazione della comunità dei lombrichi

La valutazione delle comunità dei lombrichi permette di stabilire l'impatto di attività inquinanti sul suolo. In questo lavoro abbiamo testato se la vicinanza di attività inquinanti (per esempio industrie) potesse impattare sulle caratteristiche delle comunità di lombrichi. Per questo sono stati campionati e caratterizzati lombrichi in 60 punti di sette aree selezionate della Regione Lombardia che ospitano attività o situazioni interessanti dal punto di vista ambientale.

In ogni area abbiamo rilevato che le caratteristiche delle comunità di lombrichi erano principalmente legate al tipo di uso del suolo. Malgrado sia stato difficoltoso stimare con accuratezza il potenziale effetto dell'inquinamento sul suolo, sono emerse alcune considerazioni interessanti. Per esempio, la riduzione di densità di popolazione nell'area Italcementi è stata attribuita alla concentrazione di rame qui presente, anche se tale elemento non era la fonte di impatto per la quale il sito era stato preso in considerazione. Abbiamo identificato comunità di lombrichi formate dalla combinazione delle due sottospecie LRR e LRC delle specie *Lumbricus rubellus*, associato a specie particolari come *Eiseniella tetraedra* (ET). Questa combinazione è stata trovata in tre punti di tre aree differenti (Viscolube, plume cromo esavalente e SIN), ed è correla con la concentrazione di cromo in due delle tre. Così come in alcuni altri studi sulla tossicologia dei lombrichi, i nostri risultati hanno mostrato che tali organismi hanno un'alta resistenza all'inquinamento da metalli pesanti, come nel caso dell'arsenico presente nell'area SIN.

Tra le sette aree studiate le comunità di lombrichi appaiono altamente in contrasto in termini di densità e potenziale diversificazione. Tali differenze possono mascherare il potenziale effetto dell'inquinamento

1. Introduzione

La qualità del suolo può essere definita come la sua capacità di fornire cibo, mangimi e materie prime in generale, oltre a garantire le funzioni ambientali. I suoli sono sistemi interattivi nei quali la fornitura di ecoservizi è mitigata dalle sue proprietà chimiche, fisiche e biologiche.

In tale sistema interattivo gli input inquinanti possono impattare direttamente la variabilità degli organismi e di conseguenza modificare o degradare alcune funzioni biologiche. Verificare l'effettiva tossicità di un inquinante è un obiettivo difficile perché essa dipende dalla sua natura, dalle proprietà chimico-fisiche del suolo ed esplica il suo effetto sulle forme biologiche in modo diverso. L'inquinamento del suolo spesso viene preso in considerazione se influenza e colpisce la salute dell'uomo, e non se invece riguarda la sostenibilità del sistema suolo stesso.

Il progetto ENVASSO (ENVironmental ASsessment of Soil for mOnitoring Project) è stato creato dalla commissione europea per valutare e creare indicatori che fossero utili per implementare la Thematic Strategy for Soil Protection. In tale progetto i lombrichi sono stati definiti "ingegneri dell'ecosistema", e sono stati scelti quali indicatori rilevanti nel riconoscere le

minacce per il suolo. La ragione per la quale sono stati scelti risiede nel fatto che essi sono implicati nell'evoluzione della fertilità del suolo, attraverso l'influenza che hanno nel riciclo della sostanza organica, sulla struttura fisica, la permeazione dell'acqua e la capacità di ritenzione idrica [1, 2].

La distribuzione dei lombrichi è influenzata da qualità intrinseche del suolo (pH, tessitura, profondità) ed è fortemente mitigata dal tipo di uso (ad esempio pratiche agricole e fertilizzazione), ma anche dalla contaminazione dovuta da varie sostanze inquinanti. A seconda del livello di disturbo, le comunità di lombrichi possono essere influenzate nella densità, nella biomassa, nella diversità tassonomica e/o nella struttura funzionale [3]. La modificazione di quest'ultima, in termini di perdita di una categoria ecologica fornisce informazioni circa l'alterazione delle funzioni del suolo che sono controllate dai lombrichi.

Nella seconda parte del Soil Mapping sono state selezionate sette aree con potenziali criticità ambientali o conclamate per stabilirne l'impatto sui suoli adiacenti.

Il progetto non aveva il solo obiettivo di verificare la presenza o assenza di determinate sostanze, ma anche quello di verificare l'interazione di diversi fattori che governano la qualità del suolo. In questo lavoro i

lombrichi sono stati scelti come bioindicatori per stabilire il grado di disturbo causato dalle diverse attività. La realizzazione (dal campionamento all'identificazione tassonomica) è stata effettuata da un team di ricerca francese dell'Università di Rennes 1, riconosciuto per la sua esperienza nel campo dell'ecologia dei lombrichi.

Sono state valutate le risposte dei lombrichi in prossimità della fonte di contaminazione. Per questo sono stati raccolti sedici punti in triplicato da sette aree. Tale disegno di campionamento assicura la qualità della caratterizzazione della biodiversità dei lombrichi presente in situ. Tale valutazione dovrebbe consentire di stabilire il potenziale impatto degli inquinanti in ogni area, sulle comunità dei lombrichi. Questo primo passo può essere poi usato per determinare i valori soglia indici di deterioramento delle funzioni biologiche per la regione Lombardia.

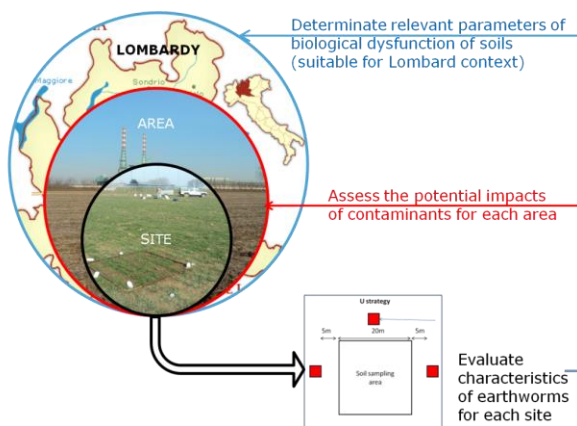


Figura 1. Valutazione dei lombrichi nelle tre scale spaziali (sito, area e regione) per rispondere ai due principali obiettivi del Progetto Soil.

2. Materiali e Metodi

DISEGNO SPERIMENTALE E ORGANIZZAZIONE DEL CAMPIONAMENTO

Il campionamento ha riguardato 60 punti in sette aree selezionate durante la seconda fase del Progetto Soil.

Per ogni sito il campionamento richiede la partecipazione di un team composto da tre persone (1 per replicato). Le operazioni sono state svolte da un solo team per cinque aree (P, V, IT, F, O), mentre per le rimanenti due un altro team ha fornito l'assistenza necessaria. In questo modo il periodo di raccolta dei 60 punti è stato limitato a 3 settimane, così come specificato nella scheda in appendice A1. I team sono stati coordinati sul campo dalla dott.ssa Piron e logisticamente e socialmente supportati dal dott. Rossi (AEIFORIA).

3. Strategia di campionamento dei lombrichi

I lombrichi sono stati raccolti combinando due metodi come raccomandato in [9] e in [10]. Essi sono stati innanzitutto espulsi dal terreno tramite l'applicazione di una soluzione irritante in un'area di 1 m² (Figura). Tale soluzione è stata ottenuta dalla diluizione con acqua di formaldeide (0,25%, 0,25% e 0,40%), applicata 3 volte (10 L ogni 15 minuti). I lombrichi vittime di irritazione epidermica dovuta alla formaldeide sono stati raccolti in superficie. Tale metodo però è insufficiente a caratterizzare adeguatamente la comunità di lombrichi, in quanto impropria nel campionamento delle specie endogene [10, 11].

Per questo è stato svolto un campionamento manuale di un blocco di terreno estratto dal centro dell'area di campionamento (25 cm x 25 cm, 25 cm profondità).

La rappresentatività delle comunità di lombrichi di ogni sito è garantita dai replicati. Ogni individuo raccolto è stato conservato in soluzione di formalina (4%) e portato in laboratorio. Qui i lombrichi sono stati identificati tassonomicamente ed ecologicamente, pesati dopo essere stati risciacquati con acqua ed asciugati con carta (Figura 2).

La determinazione tassonomica è stata effettuata attraverso una chiave di determinazione Bouché [8] e con il lombrico CD-ROM [12].

Formaldehyde method + hand sorting
(Cluzeau et al., 1999)



Formaldehyde applications (1 m²)
(3 X 10 L : 0,25%, 0, 25 %, 0,4%)



Hand sorting (25 cm*25 cm*25 cm)

Species determination at laboratory
(Univ. Rennes 1)



Figura 2. Protocollo di campionamento dei lombrichi combinante l'estrazione etologica e quella fisica.

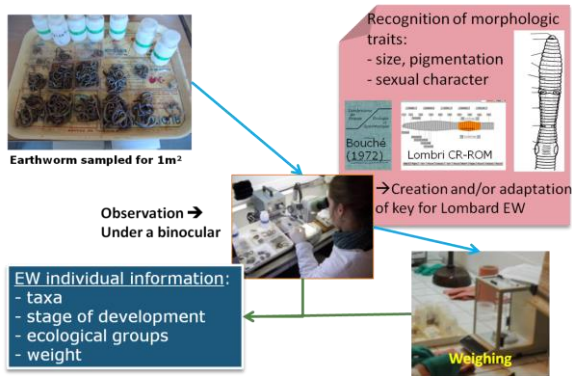


Figura 2. Caratterizzazione di ogni individuo in laboratorio.

I punti di campionamento sono stati effettuati nell'intorno di quelli in cui è stato raccolto il terreno. Si è mantenuta una distanza di almeno 5 metri, per preservare questi ultimi dalla presenza dell'espellente. Sono state sviluppate due strategie come illustrato in Figura 4. Si predilige la strategia ad "U" per contenere la variabilità spaziale delle comunità vicino all'area di campionamento del suolo. Se le caratteristiche locali non erano adeguate, è stata scelta la strategia "Line"; era il caso di maglie troppo strette o di presenza di caratteristiche della superficie del suolo troppo variabile intorno all'area di campionamento. Questa strategia è stata sistematicamente usata per Origgio, per posizionare le tre ripetizioni su linee parallele all'autostrada (a 50 e 150 m). In questo caso le ripetizioni dei campionamenti dei lombrichi erano abbastanza separate per lasciare spazio sufficiente all'esecuzione del campionamento del suolo.

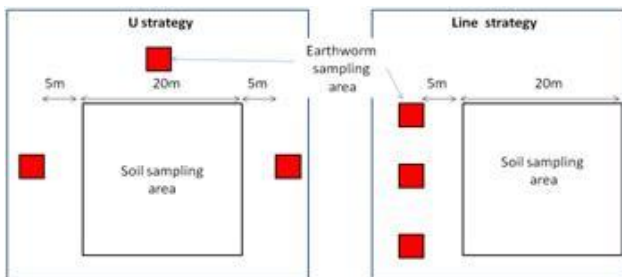


Figura 4. Strategie di campionamento dei lombrichi in accord con le caratteristiche del sito.

4. Analisi dei dati

Il confronto dei dati relativi ai vari parametri dei lombrichi (densità, biomasse) è stato effettuato attraverso test non parametrici al livello di confidenza del 95%: Kruskal-Wallis (K&W) per comparazione multipla e Mann-Whitney (M&M) per una comparazione post-hoc dopo il test di significatività di Kruskal-Wallis.

5. Risultati

In questo report la sezione dei risultati è stata costruita per sottolineare (i) lo stato del potenziale impatto di ciascuna attività sulla comunità dei lombrichi e (ii) per determinare i parametri rilevanti delle comunità di lombrichi che possano costituire dei bioindicatori ottimali per il monitoraggio dei suoli lombardi.

Tutti i taxa identificati durante il progetto sono stati referenziati nella Tabella 1. Ulteriori morfo-tipi corrispondono a lombrichi che per un criterio (dimensioni, colore) differiscono dal loro normale morfo-tipo.

Tabella 1 : Lista delle specie di lombrichi identificate, con le loro abbreviazioni ed i loro corrispondenti gruppi ecologici

Acronimo	Genere	Specie	ss specie	Autori	Gruppo ecologico	Morfo-tipo
AAA	<i>Allolobophora</i>	<i>antipai</i>	antipai	Michaelsen (1891)	Endogeico	
ACCA	<i>Allolobophora</i>	<i>chlorotica</i>	chlorotica albanica	Savigny (1826)	Endogeico	ACCX
ACCT	<i>Allolobophora</i>	<i>chlorotica</i>	chlorotica typica	Savigny (1826)	Endogeico	ACCXL
AG	<i>Allolobophora</i>	<i>georgii</i>		Michaelsen (1890)	Endogeico	
AL	<i>Allolobophora</i>	<i>leoni</i>		Michaelsen (1891)	Endogeico	
AMi	<i>Allolobophora</i>	<i>minuscule</i>		Rosa (1905)	Endogeico	
AR	<i>Allolobophora</i>	<i>rosea</i>		Savigny (1826)	Endogeico	ARJ
AX	<i>Allolobophora</i>	<i>Indeterminato</i>			Endogeico	
DB	<i>Dendrobaena</i>	<i>byblica</i>		Rosa (1893)	Epigeico	
DP	<i>Dendrobaena</i>	<i>pantaleonis</i>		Chinaglia (1913)	Epigeico	
DDX	<i>Dendrobaena</i>	<i>Indeterminato</i>			Epigeico	
EA	<i>Eisenia</i>	<i>andreï</i>		Avel (1937)	Epigeico	
EF	<i>Eisenia</i>	<i>festida</i>		Savigny (1826)	Epigeico	
ET	<i>Eiseniella</i>	<i>tetraedra</i>		Savigny (1826)	Epigeico	
LC	<i>Lumbricus</i>	<i>castaneus</i>		Savigny (1826)	Epigeico	
Lepi	<i>Lumbricus</i>				Epigeico	
LRC	<i>Lumbricus</i>	<i>rubellus</i>	Castaneus	Bouché (1972)	Epigeico	
LRR	<i>Lumbricus</i>	<i>rubellus</i>	Rubellus	Hoffmeister (1843)	Epigeico	
LT	<i>Lumbricus</i>	<i>terrestris</i>		Linnaeus (1758)	Anecico	
MP	<i>Microscolex</i>	<i>Phosphoreus</i>		Dugès (1837)	Endogeico	
NCCT	<i>Aporrectodea</i>	<i>caliginosa</i>	Typical	Savigny (1826)	Endogeico	NCCA, NCCX
NCM	<i>Aporrectodea</i>	<i>caliginosa</i>	Meridionalis	Bouché (1972)	Endogeico	
NG	<i>Aporrectodea</i>	<i>giardi</i>		Ribaucourt (1901)	Anecico	
NN	<i>Aporrectodea</i>	<i>nocturna</i>		Evans (1946)	Anecico	NNA, NNc
NNG	<i>Aporrectodea</i>	<i>Indeterminato</i>			Anecico	
NR	<i>Aporrectodea</i>	<i>s.g. rhodonicus</i>		Bouché (1972)	Anecico	
NX	<i>Aporrectodea</i>	<i>Indeterminato</i>			Indeterminato	
OCO	<i>Octodrilus</i>	<i>Complanatus</i>		Dugès (1828)	Anecico	OCO2
OO	<i>Octolassium</i>	<i>lacteum</i>		Orley (1885)	Endogeico	
OT	<i>Octodrilus</i>	<i>Transpadanus</i>		Rosa (1884)	Anecico	OTX
OTL	<i>Octodrilus</i>	<i>lisseansis</i>		Michaelsen (1910)	Anecico	
ENDOX	Indeterminato				Endogeico	
EPIX	Indeterminato				Epigeico	
IND	Indeterminato				Indeterminato	

5.1 Area Parona (P)

DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

L'area di Parona è stata campionata dall'1 al 2 marzo 2013. È stata fatta per prima per precedere l'aratura del suolo antecedente la semina del riso. L'area in questione è stata selezionata in questa fase per verificare e stabilire l'impatto potenziale di un impianto di incenerimento dei rifiuti, categoria di attività che notoriamente può generare e determinare deposizione di diossine nel suo intorno.

Gli otto punti selezionati sono stati disposti secondo le quattro direzioni cardinali e a due diverse distanze dall'impianto (centro) (Figura 5). I lombrichi sono stati raccolti nei siti P1,2,3,4 (500 m dall'inceneritore) e P9,10,11,12 (2000 m); i Punti intermedi non sono stati campionati.

Tutti i punti sono stati raccolti prima dei campioni di suolo e utilizzando la strategia "U" (Figura 4). La raccolta è avvenuta all'interno della coltura presente: in 5 siti in campi di riso (P1, P2, P9, P10, P11), 2 siti in campi di soia (P3 e P10) e l'ultimo in un campo di mais (P12). Tutti i punti ad eccezione di quest'ultimo si trovavano in situazioni di campo aperto, mentre il P12 era circondato da pioppi. I rilievi hanno fatto emergere la natura tessiturale dell'area, di carattere sabbioso.

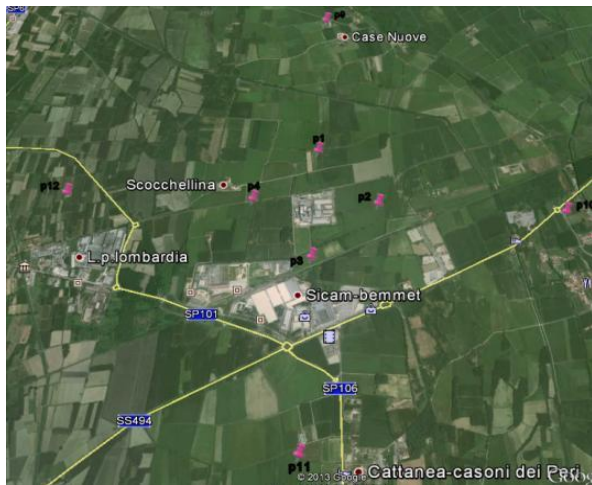


Figura 3. Mappa dell'area di Parona area e localizzazione dei siti.

CARATTERISTICHE DELLE COMUNITÀ DEI LOMBRICHI NEI PUNTI DI PARONA

Densità e biomassa dei lombrichi

Questa area era caratterizzata da una bassa densità e bassa biomassa di lombrichi. Questo valeva soprattutto per i campi di riso: nessun lombrico è stato trovato in P11 e P4, mentre per P1, P9 e P12 qualche individuo è stato trovato per uno o due replicati. Il sito P12 non differiva dagli altri in termini di densità e biomassa. Per contro, i campi coltivati a soia sono apparsi favorevoli alla presenza dei lombrichi ed il punto P10

ha presentato densità e biomassa significativamente alte, in confronto alle risaie.

L'alto impatto dell'uso del suolo rende difficoltosa la valutazione dell'impatto legato alla posizione del punto (distanza relativa ed orientamento rispetto all'impianto).

P1 e P9 hanno la stessa destinazione d'uso (risaia), e non differiscono in termini di biomassa e densità.

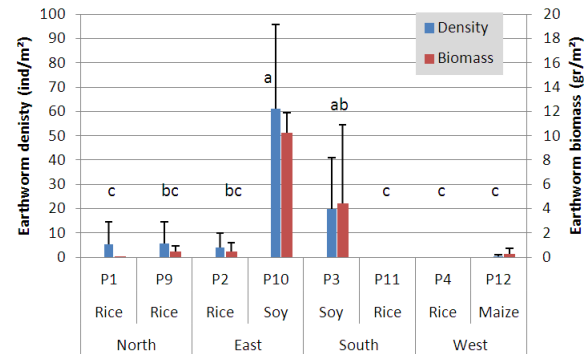


Figura 4. Valori medi di densità e biomassa per i lombrichi degli otto punti dell'area di Parona. I punti 1-4 erano localizzati a 500 m; da 9 a 12 erano a 2000 m dall'inceneritore. (Presenza di significativa differenza di densità e biomassa (M&M, $p < 0,05$)).

Struttura funzionale delle comunità di lombrichi

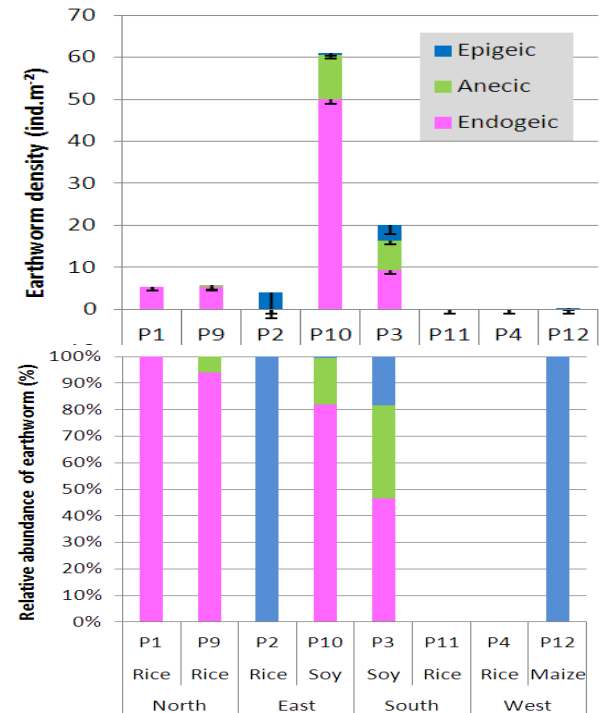


Figura 5. Densità assoluta e relative dei tre gruppi ecologici per gli otto punti campionati a Parona.

La bassa densità di lombrichi ha reso difficile l'interpretazione della struttura funzionale fra i punti di questa area. Le risaie, eccetto quella in P9, erano caratterizzate dalla presenza di un unico gruppo ecologico: Endogeico in P1, epigeico in P2 e P12

(Figura 7). P9 differiva per il campionamento di un individuo appartenente ad un gruppo Anecicoo (*O. transpadanus*). Le risaie hanno fornito un potenziale di diversificazione basso, con un massimo di due specie trovate per sito.

Struttura tassonomica della comunità di lombrichi

Otto specie di lombrichi sono state formalmente riconosciute nell'area di Parona. I campi di soia hanno sostenuto il più alto indice di ricchezza di specie, di diversità ed equiripartizione.

La struttura tassonomica del punto P10 è rappresentata dall'Analisi delle Componenti Principali (PCA) (Figura 6); è stata spiegata dalla presenza di *Al. georgii* (AG) e *L. terrestris* (LT), correlate con la prima componente (31%). La struttura tassonomica di P3 è moderatamente

discriminata dalla prima componente principale a causa di due specie che sono state ugualmente campionate in P10 (MP *M. phosphoreus* e NCM *Ap. meridionalis*).

L'analisi CP non ha separato la struttura tassonomica fra i campi tra i tre siti.

La specie *Dendrobaena byblica* (DB) è apparsa in una specifica area geografica, compresa tra i vicini siti P2 e P3, con usi differenti.

Il compito di studiare l'impatto sito-dipendente è stato reso difficile dal peso delle caratteristiche del sito P10 nel calcolo delle CP.

La struttura tassonomica è apparsa distinta nella direzione est e nella fascia di campionamento a 2000 m.

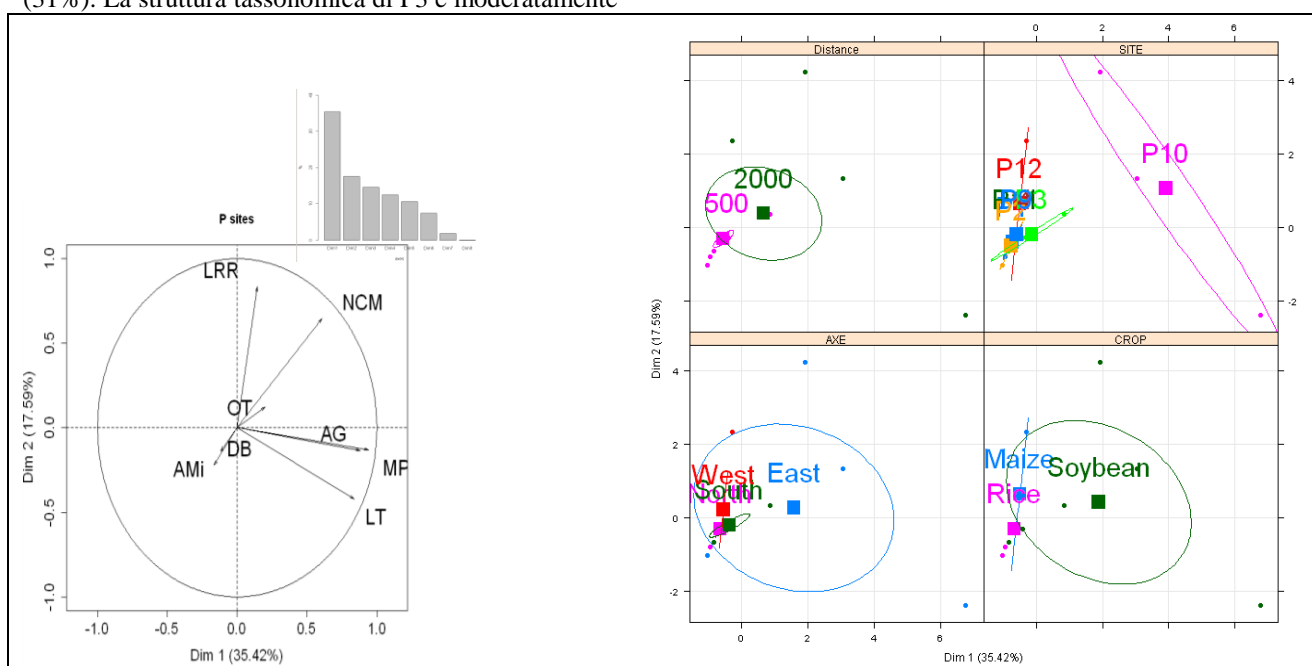


Figura 6. Risultati dell'Analisi delle Componenti Principali (PCA) per le prime due componenti (≈53%) nella quale la densità delle specie di lombrichi è stata usata per testare la variabilità delle comunità di lombrichi, in accordo con il sito, a due diverse distanze dall'inceneritore, nelle Quattro direzioni cardinali e tra tre coperture di suolo.

Relazione tra parametri del suolo e comunità di lombrichi

Data l'alta densità e diversità della comunità presente, il sito P10 appare discriminato dalla PCA, ed è risaltato dalla prima PC (Figura 7a, Figura 7b). Solo la concentrazione del sodio era correlata con i parametri dei lombrichi, ma la sua variabilità non spiegava le caratteristiche di questa particolare comunità (Figura 7a).

Analogamente, la struttura tassonomica di P10 non può essere spiegata dalle caratteristiche del suolo in analisi. Le proiezioni di P2 e P3 sono racchiuse nel grafico e possono essere spiegate dalla presenza della specie DB (*Dendrobaena byblica*). La correlazione di DB con [Ca] e [P] è imputabile alla maggior concentrazione di tali nutrienti nel suolo del sito P3.

Tabella 2: ricchezza di specie, diversità ed indice di equipartizione per gli otto punti di Parona

Siti →	P1	P9	P2	P10	P3	P11	P4	P12
ricchezza di specie (S)	1	2	1	6	4	0	0	1
Diversità (H')	0	0,32	0	1,47	1,69	-	-	0
Equipartizione (J)	0	0,32	0	0,56	0,84	-	-	0

La PCA discrimina differentemente i siti di Parona in accordo con i risultati dell'analisi del suolo (Figura 7c). I due siti P11 e P9 sono quelli caratterizzati dalla maggior concentrazione (ma non eccessiva) di alcuni metalli pesanti (Cr, Pb, Cd, e Cu), che erano correlati con la prima PC. Nessuna specie di lombrico aveva una densità correlata con questa PC. L'alta concentrazione

di metalli potrebbe essere spiegata dalla prossimità di una azienda agricola, tipicamente fonte di contaminanti antropogenici. Solo le specie DB sono rappresentate

nel grafico; la loro densità era correlata negativamente con l'alluminio [Al] e negativamente con il fosforo.

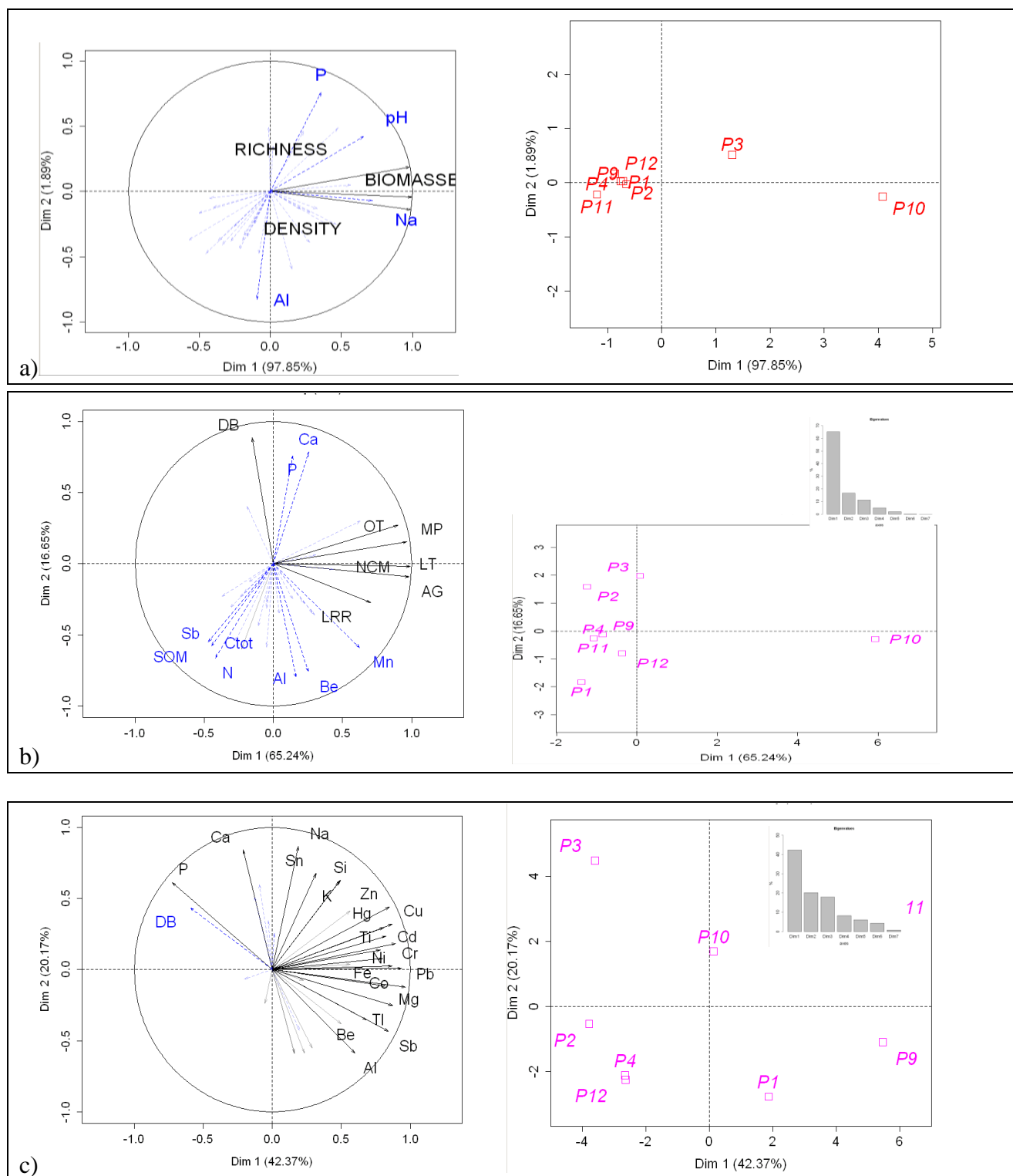


Figura 7. Analisi delle Componenti Principali a Parona svolta con (a) caratteristiche delle comunità di lombrichi (densità, biomassa e diversità), (b) densità dei taxa e (c) parametri del suolo quali variabili esplicative (nero). Variabili supplementari (blu) non sono state impiegate per calcolare le Componenti Principali ma sono state proiettate in grafici in accordo con il modello PCA. Solo le variabili significative della PCA sono state proiettate ($\cos^2 < 0,5$).

Tale correlazione era supportata dalle analisi del suolo per il solo sito P3. Stabilire il potenziale impatto da fonte inquinante sulla sensibilità delle comunità di lombrichi, è stato un compito difficile nell'area di Parona, soprattutto per la povertà di specie presenti.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

L'area di Parona presenta diverse caratteristiche identificate come sfavorevoli alle attività dei lombrichi, indipendentemente potenziale effetto dell'inceneritore. Le caratteristiche delle comunità qui presenti sono innanzitutto attribuite al contesto locale di risaia.

La vocazione agricola della zona è riconosciuta come dannosa per i lombrichi a causa dell'intensità delle pratiche di aratura del terreno [4], e la sommersione che limita la diffusione dell'ossigeno e la sua disponibilità per i lombrichi [5]. In più, le caratteristiche generali del suolo sono naturalmente avverse ai lombrichi in quanto si tratta di terreni dalla tessitura sabbiosa [6] e il pH basso [1]. Nel sito P1 si osserva uno strato di suolo riducente a 30 cm di profondità. In questo contesto regionale, l'uso del suolo per la produzione di soia crea alcune condizioni favorevoli alla diversificazione e miglioramento della densità delle comunità di lombrichi; innanzitutto perché tali campi non vengono sommersi, e poi perché la soia è un legume, e per questo produce residui organici ricchi in azoto, dotati per questo di un alto valore nutrizionale per i lombrichi [7].

Stabilire il reale impatto dell'inceneritore in questa zona è stato ostacolato dalle pratiche agricole, e dalla particolarità pedoclimatiche.

5.2 Area Viscolube (V)

DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

Questa area è stata campionata dal 4 al 6 marzo 2013. Essa è stata selezionata per determinare l'impatto subito dalla presenza dell'impianto di rigenerazione di oli esausti Viscolube. Sono stati prelevati otto campioni nelle quattro direzioni cardinali, a due diverse distanze dal centro, costituito dall'impianto (Figura 10).

I lombrichi sono stati campionati nei siti V5-V6-V7-V8 (500 m dall'impianto) e V1-V2-V3-V4 (1000 m). Tutti i punti sono stati campionati seguendo la strategia "U", dopo la raccolta del suolo.

I siti erano caratterizzati da tre tipi di uso del suolo: prato (5), mais già raccolto (1), frumento (2). (la posizione del punto V5 è particolare: si trova fra l'autostrada, un casello autostradale e la ferrovia. In più si nota una crosta sulla superficie del suolo, che può essere attribuita alla salinizzazione dovuta alla prossimità di pile di sale, usate per lo sgombrò dal ghiaccio nella stagione invernale).

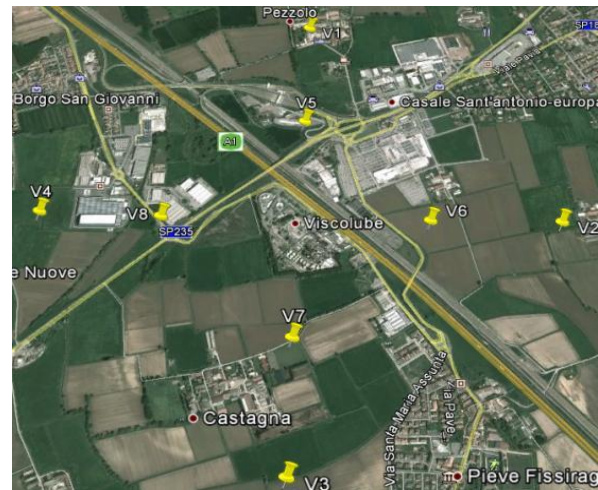


Figura 8. Mappa aerea dell'area Viscolube.

Durante il campionamento abbiamo osservato i resti di una recente distribuzione di deiezioni animali o scopo di fertilizzazione, presenti sulla superficie del suolo di tre siti (V1, V8 e V6). In V3 si osserva un accumulo di tale materiale lungo il profilo del suolo che indica la precedente localizzazione di un letamaio.

Il campionamento è stato realizzato in condizioni di suolo e di capacità di campo ottime, ad eccezione di V1 e soprattutto di V3, durante la cui raccolta pioveva. In appendice sono presenti ulteriori informazioni.

CARATTERISTICHE DELLE COMUNITA' DI LOMBRICHI NEI PUNTI DELL'AREA VISCOLUBE

Densità e biomassa dei lombrichi

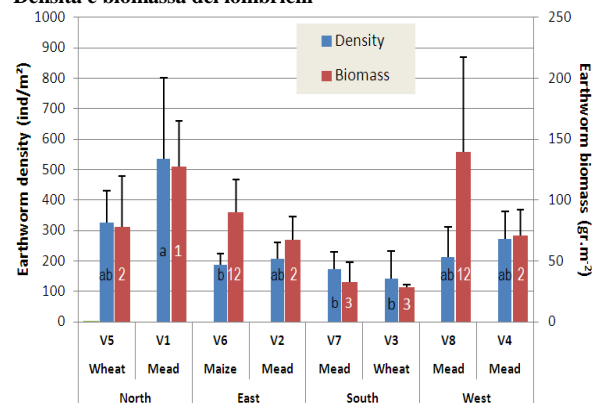


Figura 9. Medie delle densità e delle biomasse per gli otto siti. V5->8 a 500 m; V1->4 a 1000 m dall'impianto Viscolube. (Le scritte indicano differenze significative di densità (in nero) e biomassa (in bianco) (M&M, p< 0.05)).

La Viscolube appare fra le aree più favorevoli alla presenza di lombrichi, come mostrano gli alti valori di densità e biomassa.

La più alta media di densità è stata osservata in V1 (prato) (534 ind. m⁻²), che differisce significativamente da V7 (prato), V3 (frumento invernale) e V6 (mais). La più alta biomassa è stata misurata in V8 (140g m⁻²),

mentre V3 e V7 ne esibivano il minor valore, rispettivamente pari a 28 e 33 g m⁻² (Figura 11).

In relazione alla loro posizione cardinale, le comunità di lombrichi presentavano una minor densità e biomassa nella fascia meridionale, indipendentemente dal tipo di uso del suolo.

Stabilire l'impatto della distanza dall'impianto in tutte le direzioni è complicato dalla diversità nell'uso del suolo; è stato possibile ottenere informazioni accettabili solo in direzione ovest (prato). In questa direzione non vi era una differenza significativa di densità fra il più lontano V4, ed il più vicino V8, mentre la biomassa in quest'ultimo punto era il doppio di quella misurata in V4, ma non statisticamente significativa (M&M, n.s.).

Struttura funzionale delle comunità di lombrichi

La bassa densità di lombrichi in direzione sud ed est è spiegata dal gruppo ecologico Endogeno che appare piuttosto sottorappresentato (<18%), specialmente in V3 (2%) (Figura 12). Questi risultati suggeriscono la presenza di fattori che controllano la popolazione endogena in questa zona, nonostante le differenze di uso del suolo (coltura vs prato) e tipo di coltura (frumento vs mais raccolto).

In queste direzioni, il sito V2 è stato caratterizzato da un'alta popolazione epigea. La struttura funzionale differiva da quella presente in altri prati (V8, V4 e V1), nei quali essa era relativamente in equilibrio fra geofagi (endogeni) e lombrichi detritivori (anecici+epigei). Ad eccezione della loro differenza di densità nel gruppo endogeno, i siti V5 e V3, occupati da colture, hanno un'alta presenza del gruppo anecico.

In questa area sono state ufficialmente identificate quindici specie di lombrichi. La minor densità ed il minor indice di equipartizione sono stati ottenuti in direzione sud, mentre la minor ricchezza di specie è stata osservata nel punto V5. Il sito V8 invece ha esibito i migliori valori di ricchezza di specie, diversità ed indice di equipartizione.

I risultati della PCA mostrano un'alta eterogeneità della struttura tassonomica tra siti adibiti a prato. La struttura in V8 è ben discriminata dall'analisi; la variabilità della comunità qui presente è correlata con la prima PC (Figura 11). Tale comunità differisce per l'abbondanza di due specie endogene (AL e AG), e per quella dell'epigea LRR. In più V8 era l'unico punto che ospitava la specie anecica *L. terrestris* LT.

La variabilità della comunità di lombrichi in V1 è parallela alla seconda PC (Figura 11). Tale fattore è spiegato dalla variabilità di densità della piccola specie endogena AAA (*Allolobophora antipai antipai*). Il sito V2 è discriminato dalla densità delle specie ET e LRC. Esse erano assenti nel vicino sito V1 ugualmente adibito a prato.

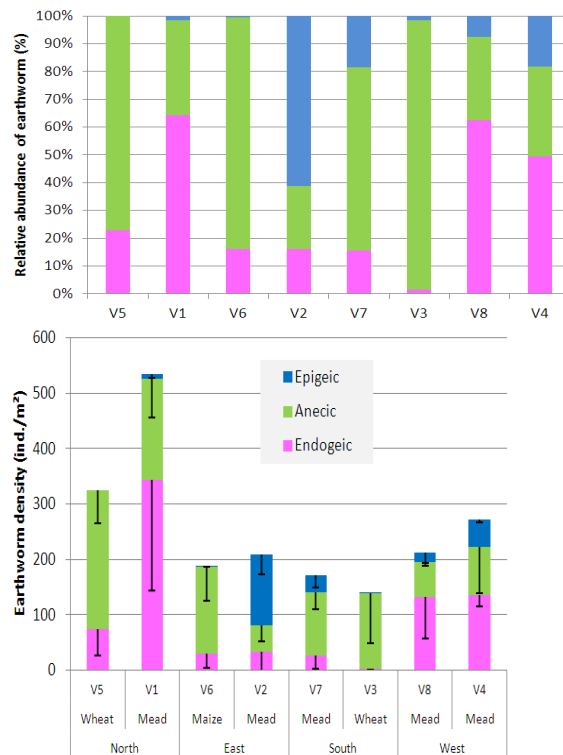


Figura 10. Densità relative ed assolute dei gruppi ecologici negli otto siti dell'area Viscolube
Struttura tassonomica della comunità di lombrichi

Tabella 3: ricchezza di specie, diversità e indice di equipartizione per gli otto siti Viscolube

Siti →	V5	V1	V6	V2	V7	V3	V8	V4
ricchezza di specie (S)	4	9	6	8	5	4	10	7
diversità (H')	1,4	1,7	2,0	2,2	1,0	0,3	2,8	1,6
equipartizione (J)	0,6	0,5	0,8	0,7	0,4	0,1	0,9	0,6

La comunità del punto V7 è notevole per la presenza della specie DP (*Dendrobaena pantaleonis*), che "normalmente" è una specie endemica delle isole mediterranee di Sardegna, Sicilia e Corsica [8,12].

Il sito V5 (coltivato a frumento) è differenziato e correlato negativamente con la terza PC. La differenziazione è spiegata dalla presenza delle due specie NCCT e NCM (*Ap. caliginosa* e *Ap. meridionalis*), e dalla particolare assenza della specie OT (un solo individuo campionato), che è la specie più rappresentata in tale area.

A causa della elevata eterogeneità delle comunità di lombrichi fra zone dedicate a prato, la PCA difficilmente le ha separate dagli altri usi del suolo. Qui si evince che le condizioni locali influenzano fortemente l'evoluzione delle comunità, probabilmente tanto quanto incide l'uso del suolo.

I campi che subiscono aratura sono stati separati dalla PCA; essi erano relazionati negativamente con la terza

PC, a causa dell'assenza della specie AAA, che appariva specificamente nei prati.
Le prime tre componenti principali non permettono di determinare l'impatto di una direzione cardinale preferenziale, e l'effetto della distanza dall'impianto sulla struttura della comunità di lombrichi.

La comunità della fascia settentrionale sembra diversificarsi dal resto dell'area a causa dell'alto contributo di V1 e V5, caratterizzati da strutture tassonomiche originali.

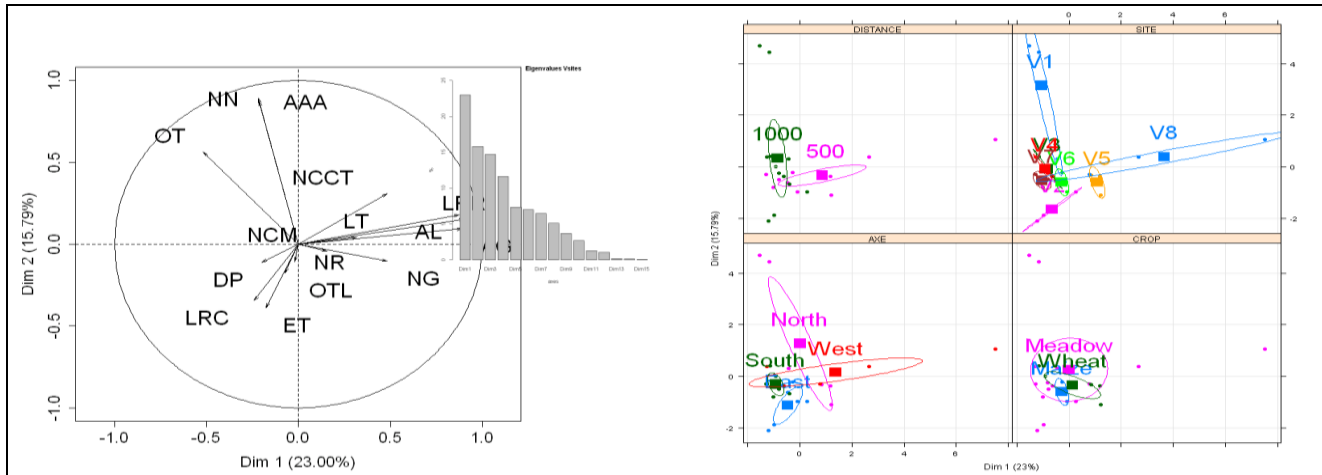


Figura 11. Risultati dell'analisi delle componenti principali per l'area Viscolube, usando come variabile esplicativa la densità tassonomica.

Relazione tra comunità di lombrichi e parametri del suolo

A causa della loro elevata densità, biomassa e diversità, le comunità di V1 e V8 erano ben separate, in accordo con la prima componente principale dell'analisi delle PC (Figura 14a). Ciononostante le caratteristiche di queste comunità non trovano spiegazione nelle analisi del suolo. La densità di AG è correlata alla concentrazione del mercurio, ma la differenza di tale elemento tra i siti, non è significativa. Quindi abbiamo osservato le tre specie ET, LRC e LRR, per le quali non vi erano correlazioni con i parametri del suolo. Abbiamo notato che l'associazione di queste tre specie era stata già rilevata in un'altra area (nel sito CR10 dell'area Plume).

I punti nell'area Viscolube sono separati in maniera diversa, in accordo con le analisi del suolo (Figura 14c). Nel grafico è rappresentata una sola specie: AAA. La sua densità è correlata negativamente con la concentrazione di antimonio (Sb). La bassa variabilità di tale elemento nella zona, però, esclude il fatto che esso possa essere il fattore di controllo di AAA.

Discussione-Conclusioni

L'area adiacente all'impianto Viscolube possiede un alto potenziale di crescita della densità e diversificazione delle comunità di lombrichi. Ciò può essere spiegato dalla profondità del suolo (>1 m) con tessitura limosa, che rientra nelle categorie di brunisol e neoluvisol. Questi tipi di suolo, per loro caratteristica fisica, rappresentano un substrato ideale per l'attività dei lombrichi.

In quest'area i risultati ottenuti dalla comparazione delle comunità non hanno sempre ottenuto risultati soddisfacenti per quanto riguarda l'impatto derivante

dalla gestione del suolo. Nella letteratura attuale, il prato è considerato come il tipo di uso di riferimento ai fini di garantire un'alta densità di lombrichi [18], specialmente se si opera una fertilizzazione a base di letame (che costituisce una risorsa trofica) [19].

Questa situazione favorisce soprattutto il gruppo anecico, che è preservato dall'operazione di aratura [4]. Nell'area Viscolube, i terreni coltivati che sono gestiti con arature profonde non hanno cambiato la struttura funzionale delle comunità di lombrichi, e specialmente non è stata osservata alcuna resistenza del gruppo endogeno. L'interpretazione della struttura funzionale può essere confusa dalle specie OT (*Octodrilus transpadanus*), che è classificato come anecico e contribuisce a mantenere alta la proporzione di questi gruppi ecologici. Infatti i nostri risultati indicano che questa specie è resistente o ben adattata alle pratiche di aratura del terreno.

La bassa densità del gruppo anecico nella fascia sud-est rispetto all'impianto, appare indipendente dal tipo di uso del suolo. Questo risultato ha messo in discussione il potenziale impatto dell'impianto locale o di altre vicine industrie. In accordo con quanto presente in letteratura, il gruppo endogeno appare più sensibile a certe forme di inquinamento perché si nutre di ingenti quantitativi di suolo (geofago), essendo così esposto a contaminanti associati alle particelle di suolo [23]. L'ipotesi non viene confermata dalle correlazioni tra i lombrichi con le concentrazioni di metalli pesanti nel suolo. In più, questa ipotesi può essere contestata dalla specie endogena AAA (specialmente nel sito V1), che può interferire con la distribuzione del gruppo endogeno nell'area.

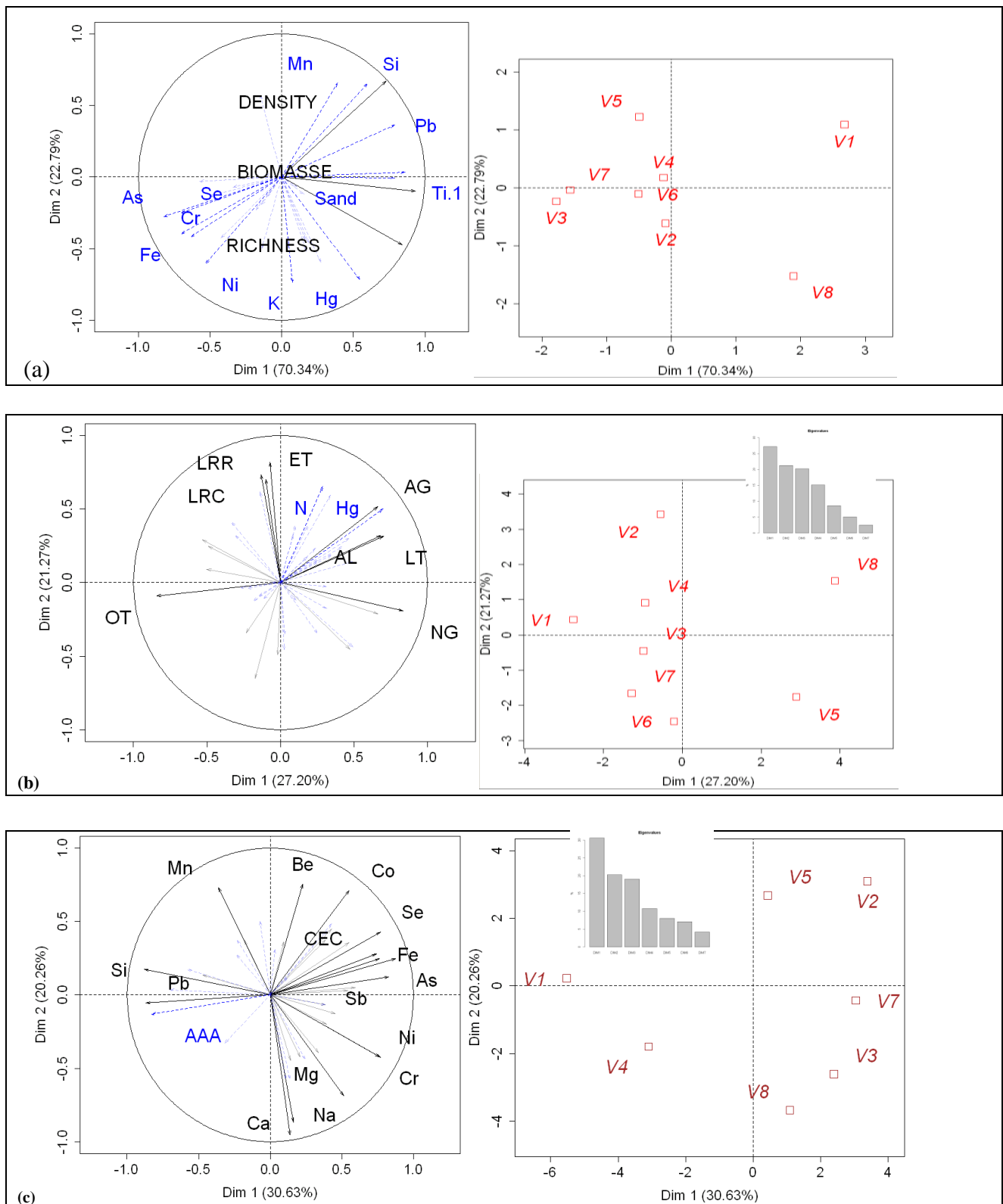


Figure 12. Risultati dell'Analisi delle Componenti Principali del sito Viscolube svolta con: (a) caratteristiche delle comunità di lombrichi (densità, biomassa e diversità), (b) densità dei taxa e (c) parametri del suolo quali variabili esplicative (nero). Variabili supplementari (blu) non sono state impiegate per calcolare le Componenti Principali ma sono state proiettate in grafici in accordo con il modello PCA. Solo le variabili significative della PCA sono state proiettate ($\cos^2 < 0,5$).

Non è stata trovata nessuna relazione significativa tra la comunità dei lombrichi ed i risultati delle analisi del suolo. La presenza delle tre specie LRC, LRR ed ET ha discriminato la comunità presente in V2, mentre nessun parametro fra le analisi del suolo ha permesso di spiegare questi risultati. La presenza combinata di LRR e LRC richiama l'attenzione sull'importanza di distinguere queste due specie di *Lumbricus rubellus* come suggerito da Bouché [8], dato che la sottospecie LRC era assente negli altri prati. In più, il confronto del peso corporeo individuale di *L. rubellus* mostra un contrasto di distribuzione nel sito V2 (Figura 15). L'ipotesi dell'esistenza di un fattore che controlli questa distribuzione è rafforzata dalla distribuzione normale di *L. rubellus* in questo sito (V2) (Figura 16). Infatti queste specie sono identificate come una delle specie ottimali quali indicatori di inquinamento e nella modellizzazione.

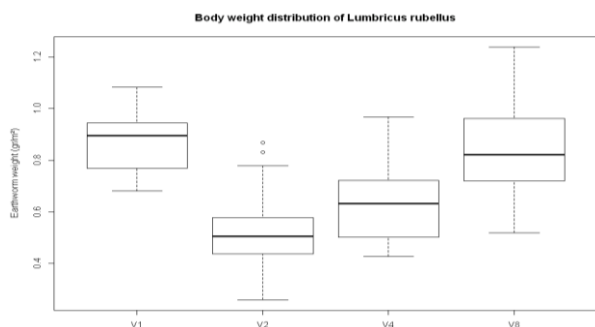


Figura 13. Peso corporeo degli adulti appartenenti alla specie *Lumbricus rubellus* presenti nei 4 prati dell'area.

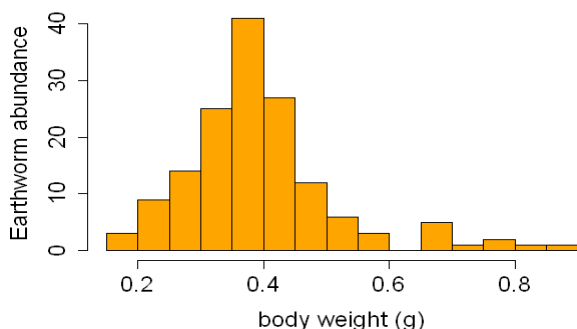


Figura 14. Distribuzione del peso corporeo degli adulti appartenenti alla specie *Lumbricus rubellus* nel sito V2 dell'area Viscolube.

5.3 Area Broni (IT)

DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

L'area di Broni è stata campionata tra il 7 e l'8 marzo 2013, ed è stata selezionata per verificare il potenziale impatto di un cementificio. Sei punti sono stati campionati attorno a tale impianto, tra i nove previsti per la raccolta dei suoli. Questi ultimi erano disposti in

tre direzioni (nord, nord-ovest, ovest), a due diverse distanze dal centro dell'impianto.

I lombrichi sono stati raccolti nei siti It1-3-8 (a 500m dall'impianto) e IT3-IT6-IT9 (a 1500m). Al posto del punto IT7, fortemente soggetto all'impatto antropico, è stato raccolto il punto IT8. La vegetazione nel punto in questione era simile a quella degli altri siti (per esempio alfalfa), ad eccezione del sito It4 (frumento). Per i punti IT3, IT4, IT6, IT8 è stata adottata la strategia "U", mentre per IT1 e IT9 è stata adottata la "line", a causa del limitato campionamento dovuto alla sommersione del terreno. I lombrichi sono stati raccolti prima dei terreni.

La raccolta è stata resa difficoltosa dalle condizioni di piovosità, che hanno ostacolato l'infiltrazione della sostanza irritante, anche a causa della natura argillosa dei suoli.

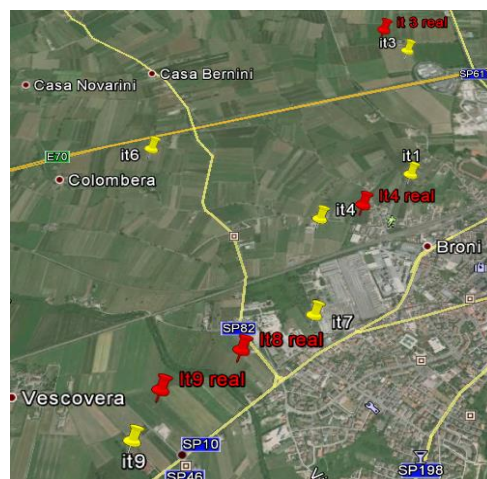


Figura 15. Mappa aerea dell'area di Broni (IT).

CARATTERISTICHE DELLE COMUNITA' DI LOMBRICHI NEI PUNTI DI BRONI

Densità e biomassa dei lombrichi

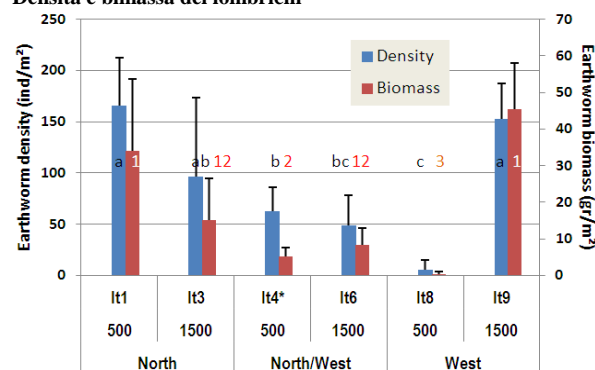


Figura 16. Densità e biomasse medie dei lombrichi negli otto punti campionati. IT1-IT6-IT9 erano a 500 m, IT3-IT6 a 1500 m e IT8 a 900 m dall'impianto. (Le lettere ed i numeri indicano la differenza significativa di densità (nero) e di biomassa (rosso) (M&M, $p < 0,05$))(*indica frumento)

L'area in questione è caratterizzata da un'alta differenziazione di densità di lombrichi e di biomassa,

anche se cinque siti, ad eccezione di IT4, avevano lo stesso tipo di uso di suolo (alfalfa).

Il punto IT8 è apparso come il peggiore dal punto di vista della comunità dei lombrichi (vi è stato raccolto un solo individuo), e mostrava grandi differenze rispetto al vicino IT9, più lontano dall'impianto, ma nella stessa direzione cardinale. Nell'asse nord-ovest non è stata rilevata nessuna differenza nella comunità fra i punti (IT4 e IT6), mentre la copertura del suolo era differente.

La fascia settentrionale presentava biomasse e densità più elevate vicino al cementificio, ma per le differenze fra IT1 e IT3 non vi era nessuna validazione statistica.

Struttura funzionale della comunità di lombrichi

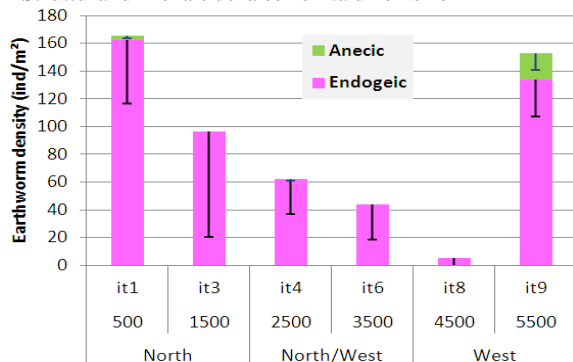


Figura 17. Densità e gruppi ecologici per l'area di Broni.

Il gruppo endogeno è quello largamente dominante la comunità di lombrichi a Broni (Figura 19). Questo gruppo era dominato soprattutto dalle due specie di lombrichi AAA e ACCX. Per il gruppo anecico è stata trovata solo la specie OCO (*Octodrilus complanatus*). Essa è stata raccolta nei punti IT1, IT4, e IT9. Nessun individuo epigeo è stato trovato.

Struttura tassonomica della comunità dei lombrichi

Quest'area mostra un basso potenziale di diversificazione delle comunità di lombrichi, con solo sei taxa raccolti (di cui OCO2 è l'unico morfotipo della specie *O. complanatus*).

Il sito IT9 è quello che mostra la più alta ricchezza di specie, con il maggior indice di diversificazione e di equipartizione (Tabella 4). Gli altri punti, eccetto IT8, sono stati caratterizzati da una bassa diversificazione di lombrichi. Nell'area le comunità erano caratterizzate da un differenziale di equilibrio tra due specie endogene (AAA e ACCX).

La piccola comunità di IT8, associata all'assenza di queste due specie suggeriscono un importante fattore deleterio su questo punto (con o senza il cementificio).

Tabella 4 : ricchezza di specie, indici di diversificazione e equipartizione per i sei siti campionati in quest'area

Siti →	IT1	IT3	IT4	IT6	IT8	IT9
Ricchezza di specie (S)	3	2	4	2	1	5
Diversità (H')	1,1	0,5	1,0	0,5	0,0	1,5
equipartizione (J)	0,7	0,5	0,5	0,5		0,6

L'analisi delle componenti principali (66%) hanno discriminato la comunità dei lombrichi di IT9, per il quale l'eterogeneità della struttura è correlata con la prima componente. La struttura differenziata di IT1 è correlata con la seconda componente principale (Figura 18). La struttura tassonomica di IT9 è stata spiegata dalle due specie NCM e AL, assenti negli altri siti; la discriminazione del sito IT1 è spiegata dall'alta densità AAA. La struttura tassonomica di IT1 e IT9 guida fortemente la distribuzione della fascia settentrionale e di quella occidentale, e spiegano la differenza della struttura tassonomica fra 500 e 1500 m.

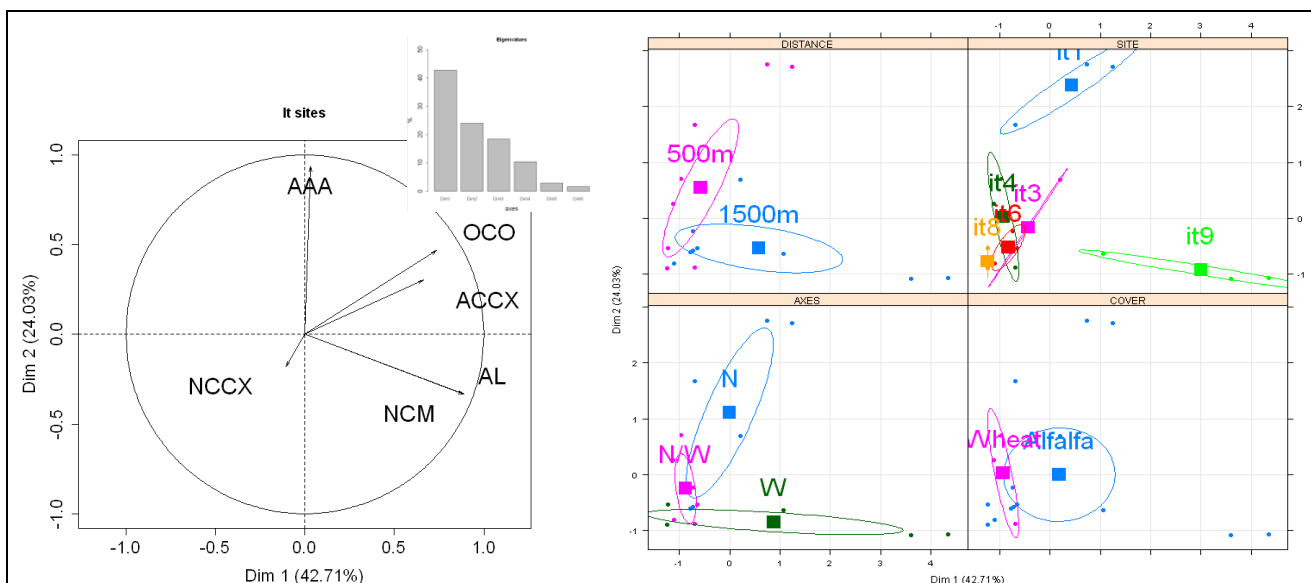


Figura 18. Risultato dell'analisi delle componenti principali PCA per l'area di Broni, usando la densità tassonomica come variabile esplicativa. La PCA confronta i sei siti, due distanze, tre direzioni (N, NW e W), e due tipi di uso del suolo (frumento e alfalfa).

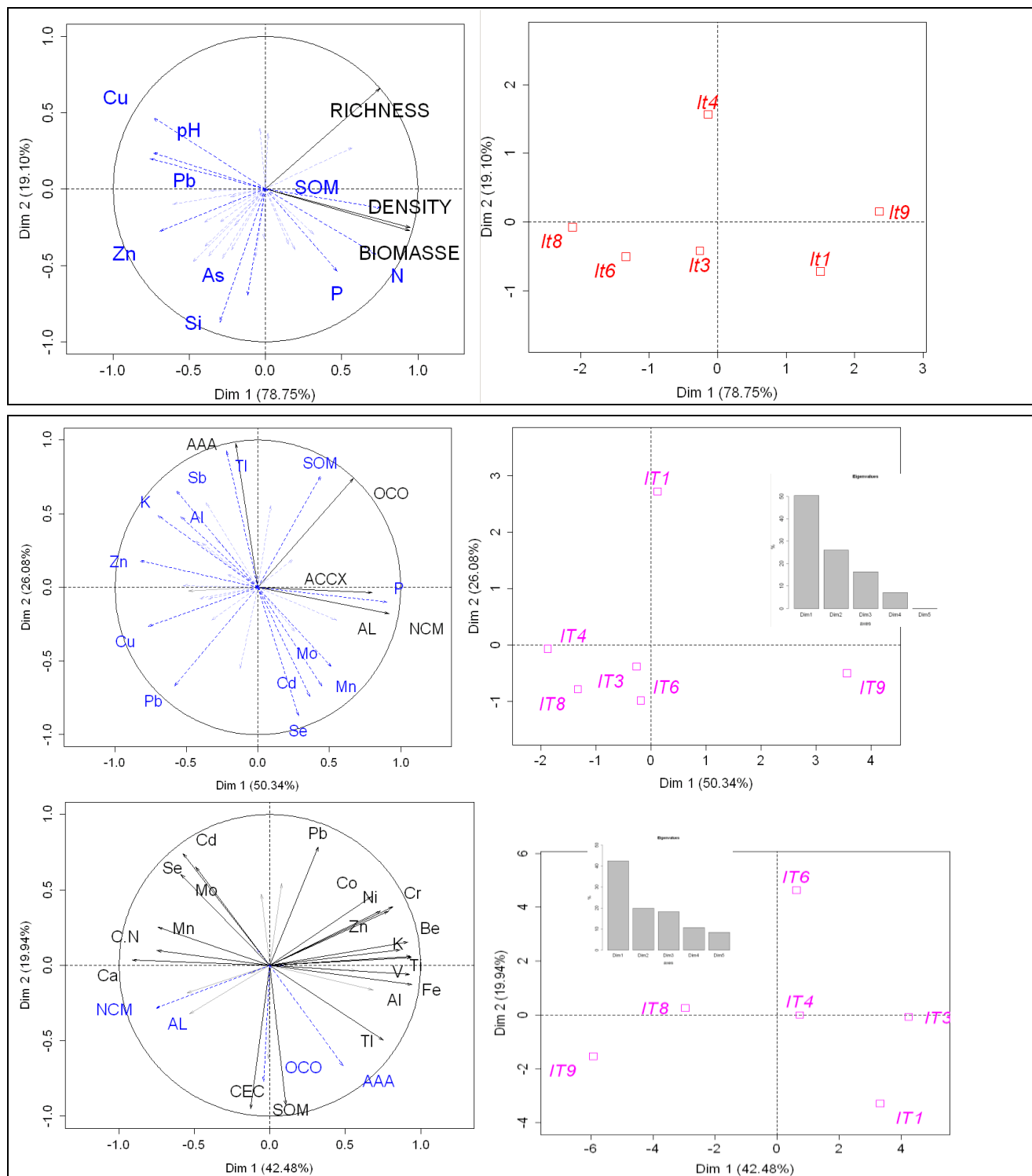


Figura 19. Analisi delle Componenti Principali dei siti di Broni svolta con (a) le caratteristiche della comunità dei lombrichi (densità, biomassa e diversità) (b) densità dei taxa dei lombrichi e (c) parametri del suolo come variabili esplicative (nero). Le variabili supplementari (blu) non sono state impiegate per calcolare le Componenti Principali, ma sono state proiettate nel grafico in accordo con il modello PCA. Solo le variabili significative della PCA sono mostrate nel grafico ($\cos^2 < 0,5$).

Relazione tra la comunità dei lombrichi ed i parametri del suolo
I siti IT1 e IT9 sono stati discriminati dalla PCA, in accordo con le caratteristiche principali delle loro

comunità di lombrichi (Figura 21a). Le loro densità e biomasse sono state correlate positivamente con la percentuale di sostanza organica del suolo (SOM), mentre erano correlate negativamente con la

concentrazione di rame (Figura 21a). Infatti, la concentrazione di tale elemento è superiore ai 200 ppm nei siti IT4, IT6 e IT8, e quindi eccede il limite di legge previsto per i suoli agricoli (120 ppm).

Il sito IT9 è discriminato dalla struttura tassonomica della sua comunità di lombrichi (Figura 20b). essa era composta dalle specie ACCX, AL e NCM, che non sono state trovate in altri siti. Una spiegazione possibile potrebbe essere quella della correlazione positiva con la concentrazione di fosforo. Il sito IT1 è discriminato in accordo con la seconda componente principale (26%),

a causa della specie AAA. La densità di quest'ultima è stata correlata positivamente con la concentrazione del titanio, e negativamente con quella di molibdeno, manganese, cadmio e selenio (Figura 20b). In ogni caso, le basse variazioni delle concentrazioni di questi elementi tra i diversi punti, non hanno permesso di trarne informazioni circa le potenziali conseguenze.

La prima componente calcolata dalla PCA con le analisi del suolo ha separato tre gruppi del sito che corrispondono alle tre diverse direzioni cardinali. Questa particolarità è stata spiegata dalla concentrazione del calcio, che aumenta dalla parte nord a quella est dell'area. Tale concentrazione di calcio dipende dalla percentuale di carbonati qui presenti. L'Analisi delle Componenti Principali non ha rivelato un impatto di questo gradiente di concentrazione sui lombrichi. La seconda Componente Principale ha discriminato il sito IT6, che è caratterizzato dal minor contenuto di sostanza organica (SOM), e la minor capacità di scambio cationico (CEC).

Discussione

La caratteristica singolare di quest'area è rappresentata dal contenuto in argilla (>33%). La tessitura che ne deriva sembra essere selettiva per le specie di lombrichi presenti, dal momento in cui un alto contenuto in argilla ha determinate conseguenze sulla funzionalità del suolo e specialmente sulle sue proprietà idrauliche. Per questo motivo la comunità qui presente era caratterizzata da una bassa densità e presentava inoltre un basso potenziale di diversità. Per questo non si può escludere che le condizioni meteorologiche al momento della raccolta abbiano condizionato la qualità del campionamento. Infatti la pioggia ha reso difficoltosa la messa in pratica della metodologia, compresa la parte manuale di estrazione su blocco di suolo, dato l'alto contenuto di argilla.

Altra particolarità di questa area è dovuta alla sua parziale inclusione nel contesto urbano (Figura 17). In più la storia agricola sembra avere un'importanza cruciale sul mantenere limitata la comunità di lombrichi. Quest'area infatti è stata occupata da vigneti e quindi sottoposta, in passato, a trattamenti antifungini base di rame; le analisi sul suolo hanno infatti confermato la presenza di un'importante

concentrazione di tale elemento, il quale ha un impatto negativo sulla popolazione di lombrichi [21]. Inoltre il rame può avere un effetto mascherante per altri inquinanti come quelli emessi dall'impianto.

5.4 Area di diffusione della Plume di Cromo Esavalente (CR)

DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

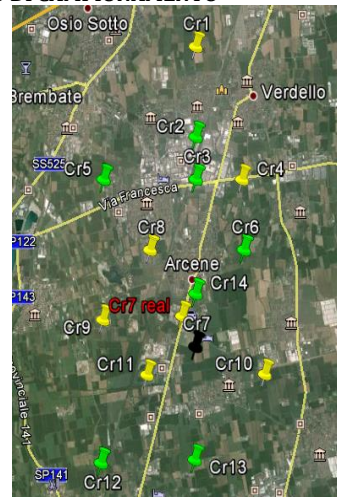


Figura 20. Mappa dell'area di campionamento (verde: prato, giallo: mais).

L'area in questione è stata presa in considerazione per studiare il potenziale impatto di una diffusione di cromo esavalente nelle acque sotterranee.

I punti da campionare erano posizionati ad una distanza di 1000-1800 m dal perimetro dei comuni presenti, nelle direzioni est ed ovest. Quattordici siti sono stati selezionati per la raccolta dei lombrichi. La strategia applicata nella maggior parte dei casi era la "U", ad eccezione del punto CR5 che corrispondeva ad un piccolo campo, e di CR2 che mostrava un'alta eterogeneità delle condizioni della superficie del suolo. Due tipi di uso del suolo sono stati campionati random: prato (CR2-CR3-CR5-CR6-CR12-CR13-CR14); mais (raccolto) (CR1-CR4-CR7-CR8-CR9-CR10 -CR11).

CARATTERISTICHE DELLE COMUNITA' DI LOMBRICHI NEI PUNTI CAMPIONATI

Densità e biomasse dei lombrichi

La densità media dei lombrichi variava tra 59 e 247 individui per m², e fra 97 e 477 individui per m², rispettivamente nei siti coltivati a mais e per quelli dedicati al prato.

La biomassa media variava tra 54 e 96 individui per m², e tra 31 e 205 individui per m², rispettivamente per i campi coltivati a mais e quelli dedicati al prato.

In questa area non si riscontra un impatto significativo del tipo di uso del suolo sulle biomasse e sulle densità dei lombrichi (K-Wallis 5%, p=0,08, n.s.). Le più alte

densità di lombrichi e biomasse sono state registrate in zone praticole (CR5 e CR12), mentre i valori più bassi di questi parametri sono state riscontrate in CR3 (prato) per la biomassa, e in CR8 (mais) per la densità.

Le distribuzioni di densità e biomassa non hanno permesso di determinare le tendenze che sarebbero riconducibili al posizionamento dei siti nell'area.

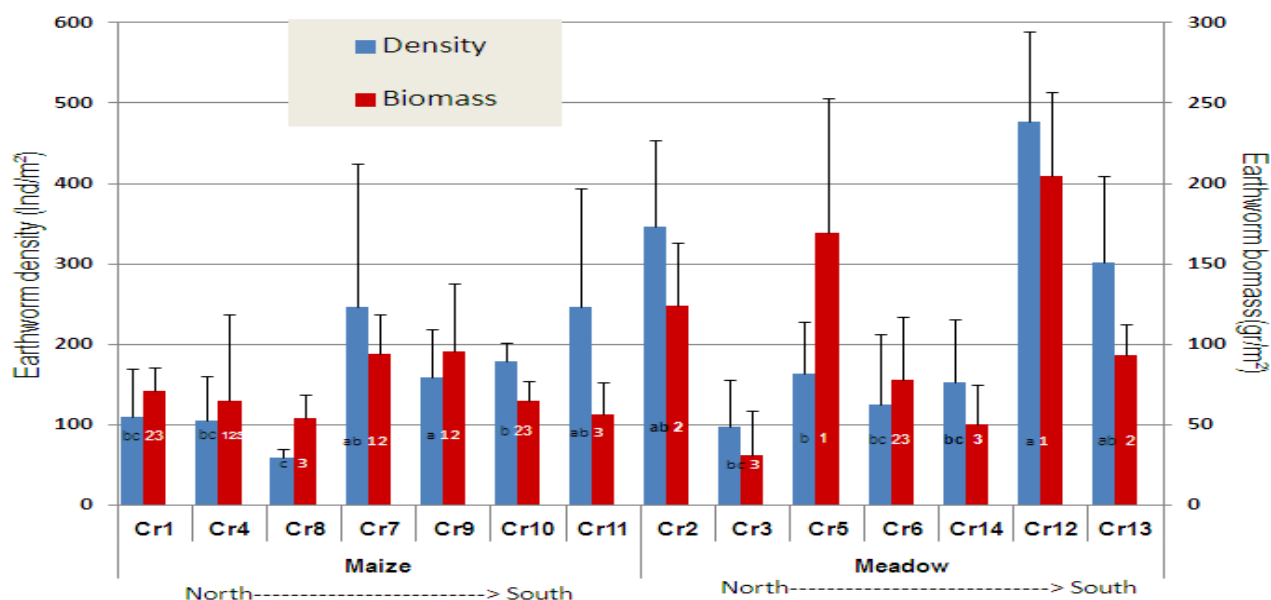


Figura 21. Medie delle densità e biomasse nei siti campionati. (Le lettere ed i numeri indicano differenze significative di densità (nero) e biomassa (rosso) (M&M, p<0,05)).

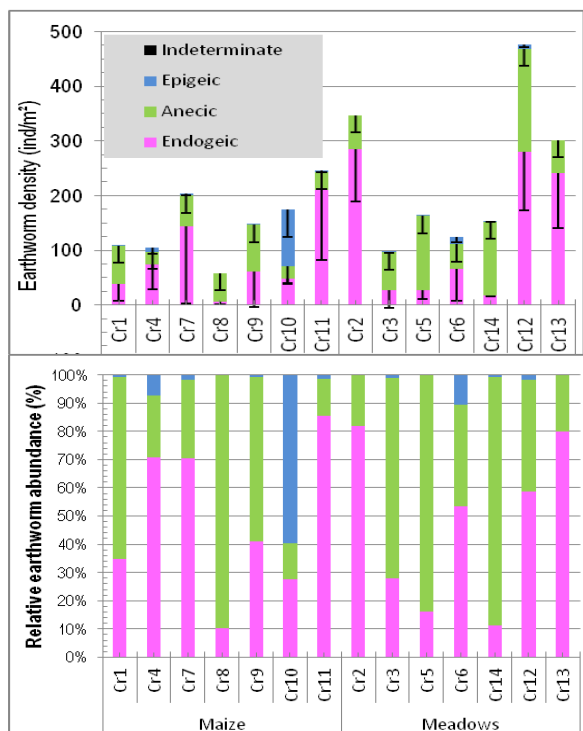


Figura 22. Struttura funzionale dell'area della plume di Cr(VI).

La diversità funzionale delle comunità di lombrichi

Le strutture funzionali presentavano un'alta variabilità fra siti e fra usi di suolo (Figura 24).

I siti possono essere classificati in accordo con la loro densità o la loro proporzione del gruppo endogeo. In base a ciò, i prati situati nel centro dell'area di campionamento erano caratterizzati da una bassa densità di tale gruppo (CR3-CR5-CR6-CR14), mentre quelli situati alle estremità ne mostravano alta densità (CR2 e CR12-CR13). Nel caso dei campi coltivati a mais, questa tendenza era meno pronunciata o non esisteva.

Tra i 14 siti CR10 appare particolare in base alla sua alta densità di individui appartenenti al gruppo epigeo, che rappresenta il 60% dei lombrichi.

Struttura tassonomica della comunità di lombrichi

La differenziazione del sito CR10 è confermata in termini di struttura tassonomica dalla analisi delle componenti principali (Figura 25). Questa differenziazione è spiegata dalla presenza di tre specie: LRR, LRC ed ET.

Tabella 5 : ricchezza di specie (S), diversità H' e indice di equipartizione J per i quattordici punti campionati

copertura	Mais							Prato						
siti	C1	C4	C7	C8	C9	C10	C11	C2	C3	C5	C6	C14	C12	C13
S	8	11	9	3	12	9	9	7	7	7	10	6	8	9
H'	2.0	2.3	2.5	0.7	2.3	2.7	1.7	2.0	2.3	1.7	2.5	1.1	2.2	2.1
J	0.7	0.7	0.8	0.4	0.6	0.9	0.6	0.7	0.8	0.6	0.8	0.4	0.8	0.7

La prossimità di CR7 e CR13 nel grafico dell'Analisi delle Componenti Principali, può essere spiegata dalla

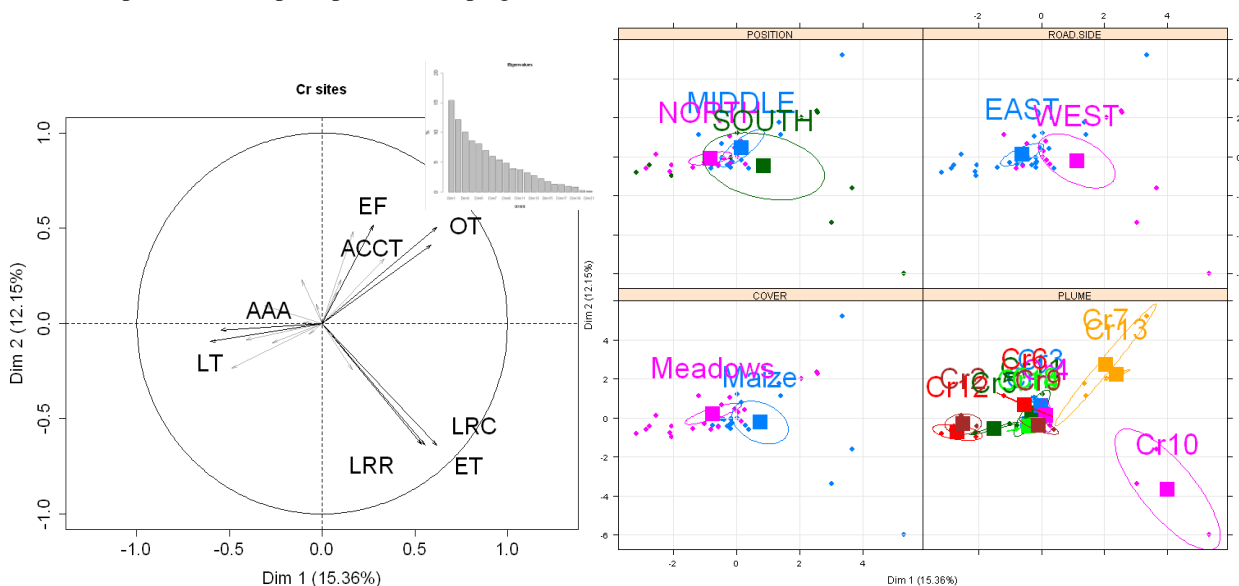


Figura 23. Risultati dell'analisi delle componenti principali con PC1 e PC2 (27%) generate dalle densità assolute delle specie di lombrichi. Solo le variabili che contribuiscono al calcolo delle PC ($\cos^2 > 0,3$) sono rappresentate nel grafico. I dati sono stati ripartiti fra sito, copertura del suolo, posizione nell'area e lato occupato.

Relazione tra la comunità dei lombrichi ed i parametri del suolo

Come suggerito sopra, l'analisi delle componenti principali delle più importanti caratteristiche delle comunità di lombrichi (biomassa, densità e diversità), non ha differenziato nessuna comunità fra tutti i siti (Figura 25a). Inoltre nessun parametro del suolo è risultato essere correlato con uno dei tre parametri relativi ai lombrichi.

La PCA condotta con le densità tassonomiche ha sottolineato la chiara differenziazione della struttura tassonomica del sito CR10 (Figura 26b). La PCA ottenuta con i parametri del suolo ha invece messo in luce la differenziazione del sito CR2 (Figura 26c).

La differenza del sito CR10 può essere dovuta alle tre specie LRR, LRC ed ET (Figura 26b). Tale associazione era già stata osservata nel sito V2 dell'area della Viscolube. Qui, nell'area di diffusione del cromo esavalente, la densità di queste tre specie è correlata con la concentrazione del cromo. Tale

presenza delle specie ACCT e OT. La comunità di lombrichi in CR13 era diversa da quella presente negli altri prati: la proiezione nel grafico PCA suggerisce che il sito è stato recentemente seminato con mais e poi convertito a prato. Le ellissi del mais e del prato mostrano una discriminazione nella comunità di lombrichi nel primo asse (15%). Come suggerito sopra, il CR13 è molto diverso dagli altri prati. La PCA mostra che la differenziazione dei due tipi di uso del suolo agisce sulla specie LT, che era leggermente favorita dal prato.

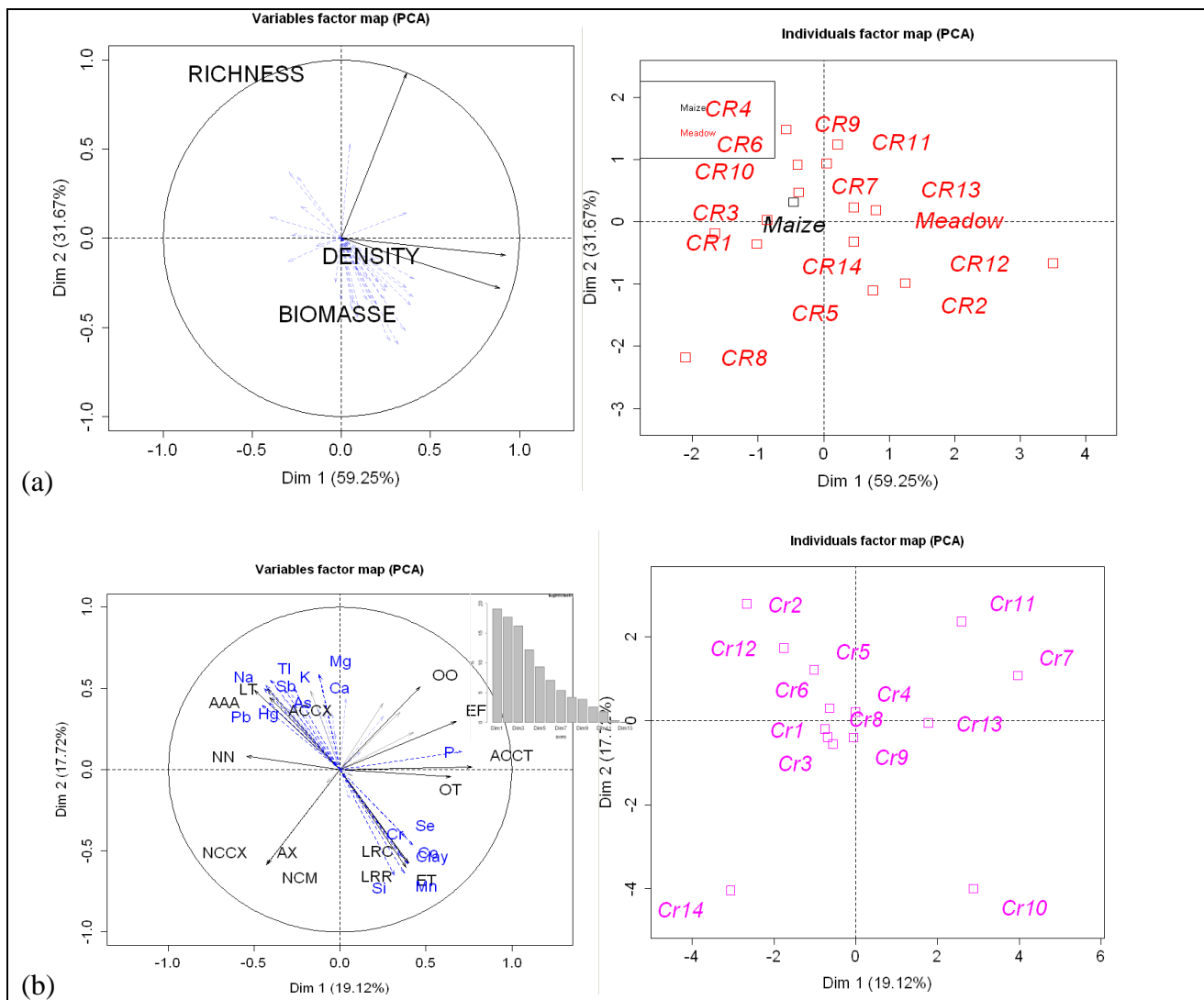
affermazione è validata dalla maggior concentrazione nel punto CR10 (87ppm), leggermente inferiore al limite di legge previsto per i suoli agricoli (100 ppm). La differenziazione del sito CR2 può essere interpretata dalla maggior concentrazione di alcuni metalli: As, Cu, Sn, Zn... (Figura 26c). La loro presenza può essere spiegata dalla particolare posizione del sito in questione, che è isolato in un'area urbana. Il risultato della PCA non ha indicato alcuna relazione tra la presenza di questi inquinanti ed un impatto negativo sui lombrichi. Paradossalmente una correlazione positiva è stata trovata con le specie AAA, ACCX ed AL. questo sito è comunque caratterizzato dal morfotipo di una specie *Ap. caliginosa* (ACCX), distinto durante la determinazione tassonomica.

Discussione

In questa area inizialmente è stato difficile determinare il reale impatto dovuto alle pratiche agricole, sulle comunità di lombrichi. Il risultato ottenuto è coerente con quello trovato nell'area Viscolube, nella quale la

densità e la biomassa dei lombrichi nei prati non erano molto differenti da quelle riscontrate nei campi arabili. Questi risultati però non sono coerenti con la letteratura in generale ([1], [18]). L'abbondanza, la biomassa e le strutture funzionali dei lombrichi sono apparse irrilevanti ai fini della ricerca dei fattori regolatori dell'evoluzione delle comunità di lombrichi. Solo lo studio della struttura tassonomica ha permesso di determinare alcune differenze reali fra le comunità. In base a ciò è apparso che i prati sono maggiormente favorevoli al lombrico anecico LT, mentre la specie OT è associata al campo dove è stato raccolto il mais.

Il risultato riguardante quest'ultima specie è in accordo con quelli dell'area Viscolube. Quindi il sito CR10 è il più differenziato e possiede una struttura tassonomica particolare, con le tre specie LRR, LRC ed ET; la densità di queste specie potrebbe essere legata alla concentrazione del cromo (così come con il cobalto ed il manganese). Un'ipotesi è che le specie ET ed LR siano più adattate a questo tipo di contaminazione, quindi non si può escludere che le sottospecie LRR ed LRC possano derivare da effetti mutagenici del cromo.



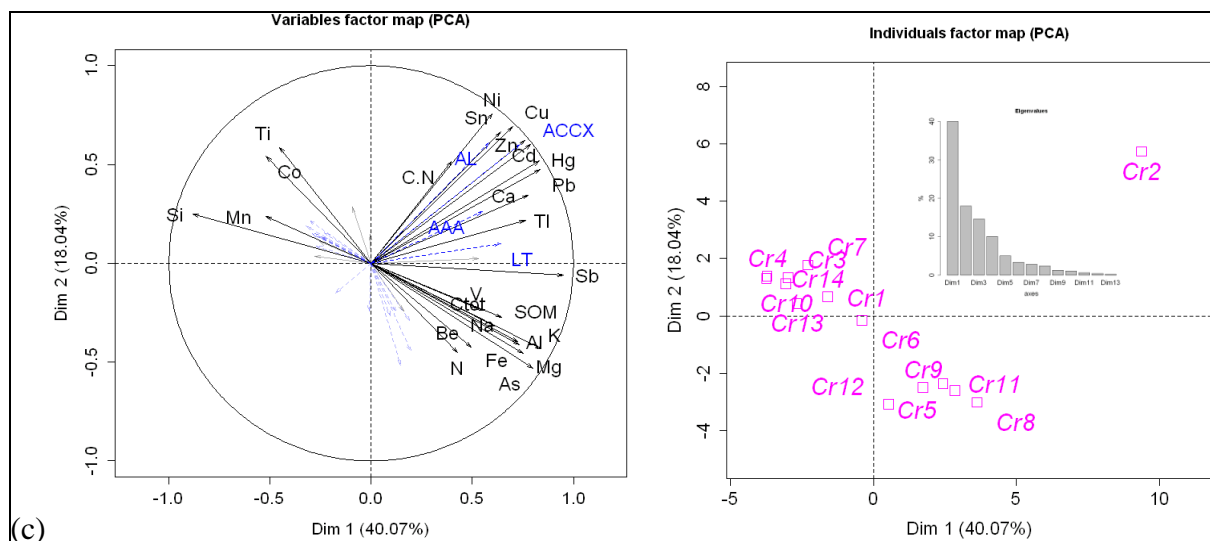


Figura 24. Analisi delle componenti principali dell'area della plume di cromo esavalente (a) caratteristiche delle comunità (densità, biomassa e diversità) (b) densità dei taxa e (c) parametri del suolo come variabili esplicative (nero). Le variabili supplementari (blu) non sono state impiegate per calcolare le componenti principali ma sono state proiettate nei grafici, in accordo con il modello PCA. Solo le variabili significative sono state proiettate nel grafico ($\cos^2 < 0,5$).

5.5 Area SIN Brescia Agricola (S)

DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

L'area SIN corrisponde ad una zona soggetta ad un elevato impatto industriale, derivante da numerosi impianti presenti sul territorio fin dai primi anni del 1900. In questa area sono stati campionati 8 punti seguendo una griglia (Figura 27), sparsi nella parte dell'area inizialmente dedicata alla produzione agricola. I punti campionati erano S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8, per i quali è stata seguita la strategia "U". I lombrichi sono stati campionati dopo la raccolta del suolo.



Figura 25. Mappa del disegno di campionamento dell'area SIN.

Caratteristiche della comunità di lombrichi Densità e biomasse dei lombrichi

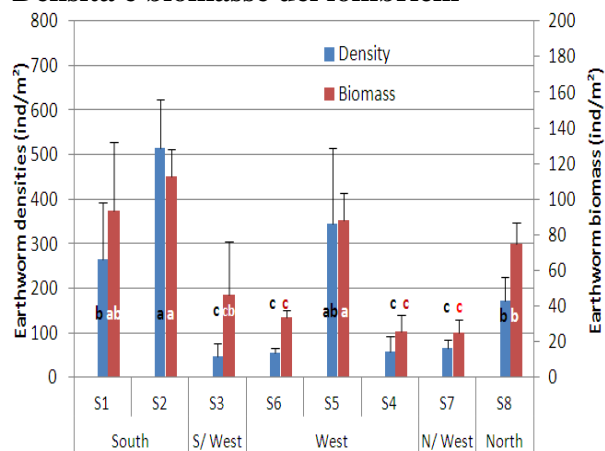


Figura 26 Densità e biomasse medie dei lombrichi negli otto siti dell'area SIN. Le lettere indicano differenze significative di densità (nero) e biomassa (bianco) (M&M, $p < 0,05$).

L'area SIN presenta alta variabilità di biomassa e densità dei lombrichi. Essi erano più abbondanti nella parte sud (S1 ed S2), rispetto ai punti S4, S3 campionati nella parte ovest più lontana ed a S7, separati dal resto dell'area da una strada. In direzione ovest, le densità erano basse nei punti vicini all'area industrializzata (S6), ma anche lontani (S4), e più alte in posizione intermedia (S5). Quindi, la variabilità dei lombrichi in termini di densità e biomassa non è relazionabile alla maggior o minore distanza dalla parte industrializzata.

Struttura funzionale della comunità di lombrichi

La struttura funzionale della comunità dei lombrichi per i siti S1 ed S2 era altamente rappresentata dal gruppo endogeo (80%), mentre il restante 20% era equamente ripartito tra il gruppo anecico e quello epigeo. S5, S4 ed S7 erano simili, ma la frazione di gruppo epigeo era bassa, e sembrava rimpiazzare il gruppo anecico (in comparazione alla parte sud).

Le comunità in S6 ed S3 erano simili (e molto differenti dagli altri punti), con bassa presenza del gruppo endogeo (<15%). Il sito S8 spicca con una ugual proporzione del gruppo endogeo ed anecico. Quindi, non può essere stabilita nessuna relazione tra la struttura funzionale delle comunità di lombrichi e la posizione relativa all'interno dell'area.

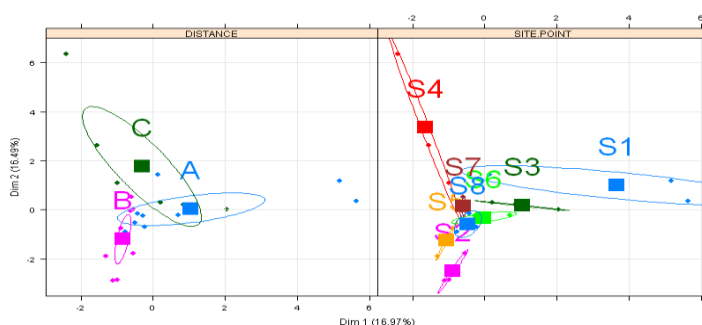
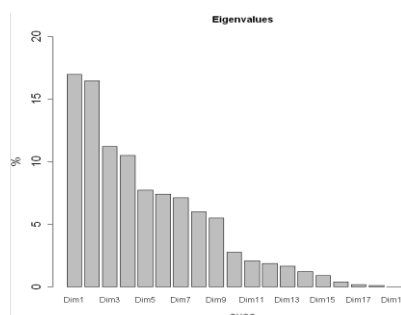
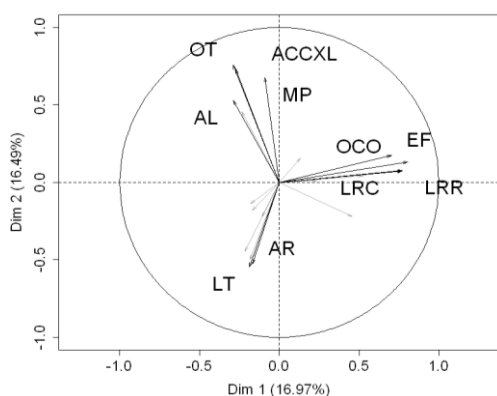
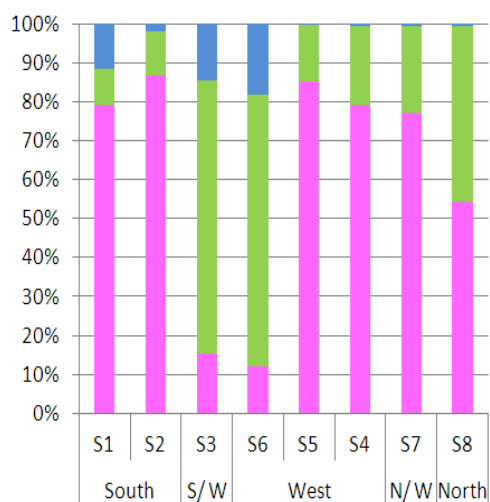


Figura 28. Risultati della PCA con PC1 e PC2 (33%) generate dalle densità assolute delle specie di lombrichi. Nel grafico sono rappresentate solo le variabili che contribuiscono al calcolo della PC ($\cos^2 > 0,3$).

Relazione fra la comunità dei lombrichi ed i parametri del suolo

I tre siti S1, S5 ed S2 sono discriminati dalla PCA a causa della loro elevata densità e diversità nelle comunità presenti (Figura 31a). I parametri della

Figura 27. Struttura funzionale dei lombrichi con le relative abbondanze di gruppi ecologici.

Struttura tassonomica

Nonostante i siti S1 ed S2 avessero una struttura funzionale simile (Figura 27), e la posizione geografica fosse vicina (Figura 26), le strutture tassonomiche erano molto diverse, in accordo con la prima PC (14.5%) della PCA (Figura 28). La distinzione del sito S1 è spiegata dalla specie EF, LRC, LRR ed OCO. S1 era il sito dotato della maggior ricchezza di specie fra i siti SIN.

Tabella 6 : ricchezza di specie (S), diversità (H') ed indice di equipartizione (J), per gli otto siti dell'area SIN

Siti →	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Ricchezza di specie (S)	11	7	6	8	8	5	7	6
Diversità (H')	2,8	2,0	2,2	2,6	2,3	1,8	1,0	2,0
equipartizione (J)	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,3	0,8

La struttura tassonomica dei siti S6 ed S8 era simile, in accordo con le due prime componenti della PCA, mentre differivano altamente in termini di struttura funzionale, biomassa e densità.

La struttura di S4 è discriminata in accordo con il secondo asse, ed è stata spiegata dalla presenza della specie OT e dall'assenza della specie LT.

densità sono correlati con la concentrazione del sodio e la capacità di scambio cationico, ma la variabilità di tali parametri non ha permesso di spiegare le caratteristiche delle comunità di lombrichi nei tre siti. È risaputo che cromo ed alluminio sono tossici per gli organismi del

suolo, e qui sono distinte dalla PCA, anche se le loro concentrazioni non sono in questo caso correlate con le densità, la biomassa o la ricchezza di specie delle comunità di lombrichi.

Nell'area SIN il sito S1 è chiaramente discriminato in termini di struttura tassonomica. Esso è caratterizzato dalle specie LRR ed LRC (Figura 31b), così come già riscontrate nel sito CR10 (Figura 26b) dell'area di diffusione della Plume di Cr(VI), e nel sito V2 dell'area Viscolube (Figura 14b). Qui tali specie erano associate con EF ed ACCX (e non con *Eiseniella tetraedra*), e coinvolte nel calcolo della prima componente della PCA. Queste specie erano altamente correlate con la PC1, come la concentrazione del cromo. Per questo motivo, quest'ultima non interferiva negativamente con altri taxa, visto che il sito S1 supporta il più alto indice di diversità, e la maggior ricchezza di specie. Queste specie sono negativamente correlate con i valori del pH.

La struttura tassonomica di S4 è anch'essa discriminata dalla PCA, in accordo con la seconda PC (26%), che mette in luce le specie OT, AL, NN e ACCXL. Queste specie erano correlate con le concentrazioni di molibdeno, manganese e calcio. È importante notare che ACCXL corrisponde ad un morfo-tipo della specie *A. chlorotica*, ed è stato separato durante la determinazione a causa delle sue elevate dimensioni anomale.

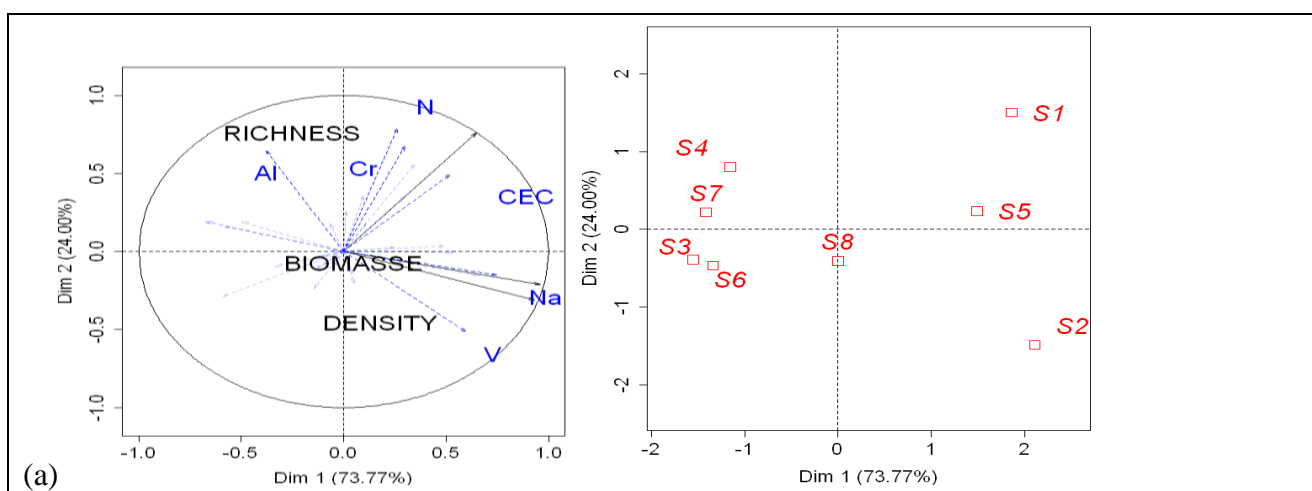
La PCA condotta con le analisi del suolo ha discriminato il sito S8 (Figura 31c); questo può essere spiegato dalla prima PC (59%) dovuto ad un insieme di metalli pesanti a concentrazioni elevate, specialmente per quanto riguarda il piombo. Nonostante ciò, nessuna specie ha presentato correlazioni positive o negative con questa PC. Questo sito differisce dagli altri per lo stato di abbandono del campo (l'erba non era stata recentemente tagliata), era localizzato in una zona umida che può corrispondere ad un punto di raccolta del ruscellamento a valle dell'acqua piovana.

Abbiamo notato che la specie LT era correlata con la concentrazione del ferro e del berillio ed il contenuto di argilla. In più, l'arsenico era negativamente correlato con la densità delle specie *L. castaneus* LC e *Ap. meridionalis* NCM: qui la concentrazione dell'arsenico eccede i valori limite previsti dalla legge, sia quello più basso, sia quello inteso per i siti ad impiego industriale, in S1, S2, S6 e S7. L'alta diversità del sito S1 ci fa capire che l'arsenico ha effetto sulla differenziazione dei taxa dei lombrichi.

Discussione

L'area SIN corrisponde al sito maggiormente contaminato da metalli pesanti dell'intero progetto. Nonostante ciò, i parametri relativi alla comunità dei lombrichi (densità, biomassa e diversità), non hanno dato indicazione del livello di contaminazione. Tuttavia la variabilità della comunità nella zona era notevole in prossimità dei siti. In più le analisi del suolo hanno mostrato che questa contaminazione non è gradualmente distribuita ed è piuttosto imprevedibile rispetto alla posizione geografica.

Questa area può essere un esempio della capacità dei lombrichi di resistere alla contaminazione. È il caso dell'arsenico: i nostri risultati dimostrano che i lombrichi sono ampiamente adattati alle alte concentrazioni [16], e che tale adattamento non è specifico di una specie [22]. Quindi, la complessità della comunità di lombrichi e la presenza di metalli pesanti nell'area SIN, non è in accordo con lo studio di Nahmani et al. che mostra che la concentrazione di metalli pesanti fa diminuire la ricchezza di specie dei lombrichi [23]. In contrasto con questo studio, la densità e la diversità dei lombrichi può essere spiegata dalle condizioni di basso disturbo dovuto all'assenza di lavorazione dei suoli, che promuovono l'adattamento delle specie.



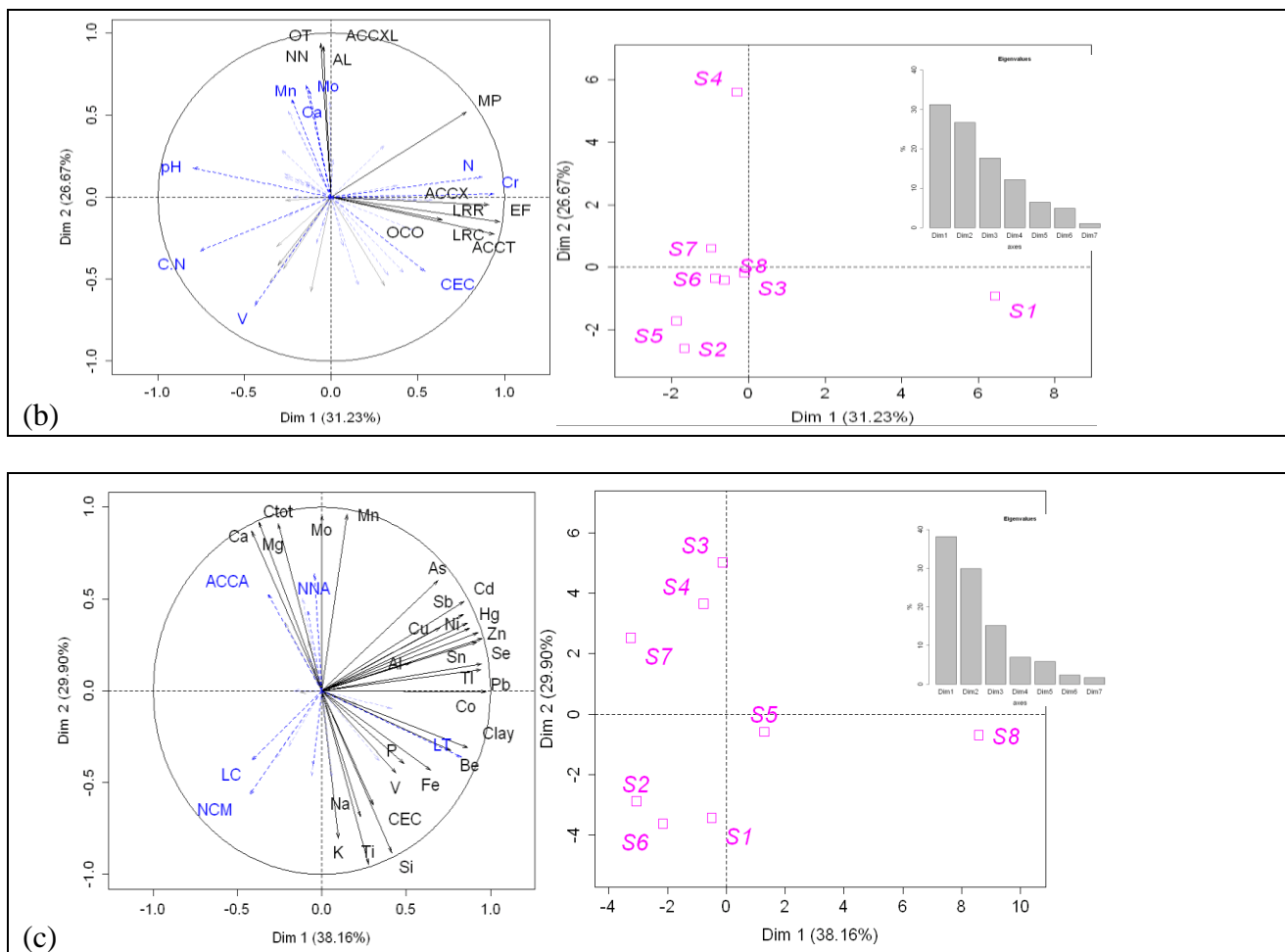


Figura 29. Analisi delle Componenti Principali dell'area SIN che usa (a) le caratteristiche della comunità di lombrichi (densità, biomassa e diversità) (b) abbondanza di taxa (c) o parametri del suolo come variabili esplicative (nero) e variabili supplementari (blu) che non sono state usate per calcolare le componenti principali. Solo le variabili che hanno un contributo significativo sono state proiettate nel grafico ($\cos^2 < 0,5$).

DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

5.6 Area Darfo Boario Terme (F)

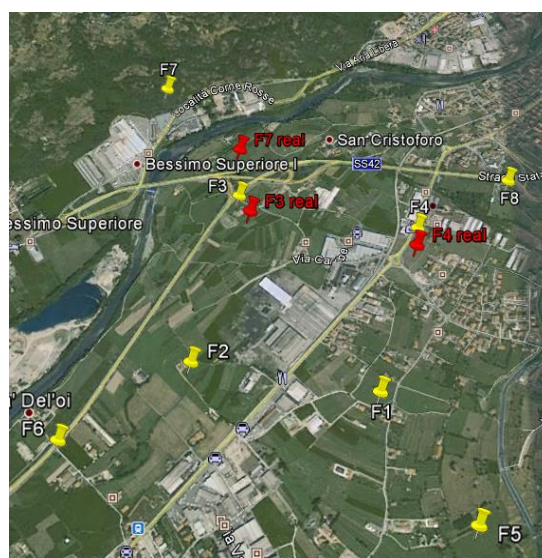


Figura 30. Mappa aerea dell'area della fonderia.

Questa area è stata selezionata per studiare l’impatto di una fonderia nei pressi di Darfo Boario Terme (siti F). l’area è composta da siti localizzati a 500m e a 1000m dal centro della fonderia, nelle quattro direzioni cardinali.

Per il campionamento la strategia “U” è stata utilizzata nella maggior parte dei siti, mentre la “Line” è stata adottata per F1 ed F6, a causa della configurazione di campo. La raccolta dei lombrichi è avvenuta prima di quella dei suoli.

Il posizionamento dei siti è stato deciso dal team di Rennes1, e a volte adattato alle condizioni di campo, in accordo con la posizione teorica GPS. La posizione di F7 era altamente dislocata, a causa della pendenza presente nel sito scelto a livello teorico.

Quattro siti corrispondevano a prati (F1, F2, F4), due a mais (post-raccolto) (F3 e F6) mentre F8 e F5 corrispondevano a pascolo.

CARATTERISTICHE DELLE COMUNITA' DI LOMBRICHI NEI PUNTI DI DARFO

Densità e biomassa dei lombrichi

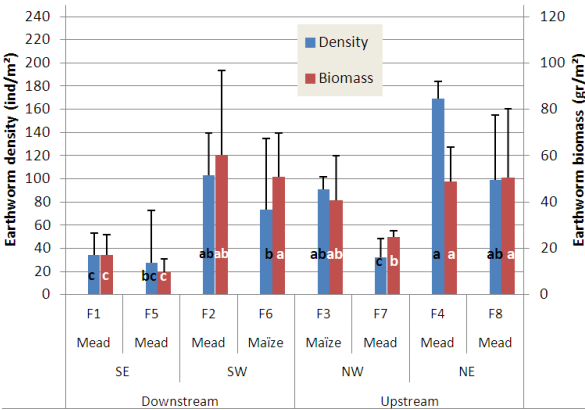


Figura 31. Densità e biomasse medie dei lombrichi nei pressi della fonderia di Darfo.

Nella direzione sud-est la comunità di lombrichi era caratterizzata dalla più piccola densità e biomassa (F1 e F5) (Figura 31). Le comunità più abbondanti sono state trovate nei pressi della fonderia: F2, F3 ed F4. La biomassa e la densità non possono essere messi in relazione con l’uso del suolo.

Struttura funzionale dei lombrichi

Per ogni direzione, le densità relative ed assolute del gruppo endogeno erano maggiori vicino alla fonderia, mentre quelle del gruppo anecico tendevano ad essere inferiori (Figura 34). Questa tendenza non sembra essere relazionata al tipo di uso del suolo, visto che è stata osservata in direzione sud-ovest e nord-ovest. La vicinanza della fonderia sembra aver avuto maggior effetto sul gruppo endogeno (F7). Il sito F1 è particolare, con una comunità totalmente rappresentata dal gruppo endogeno.

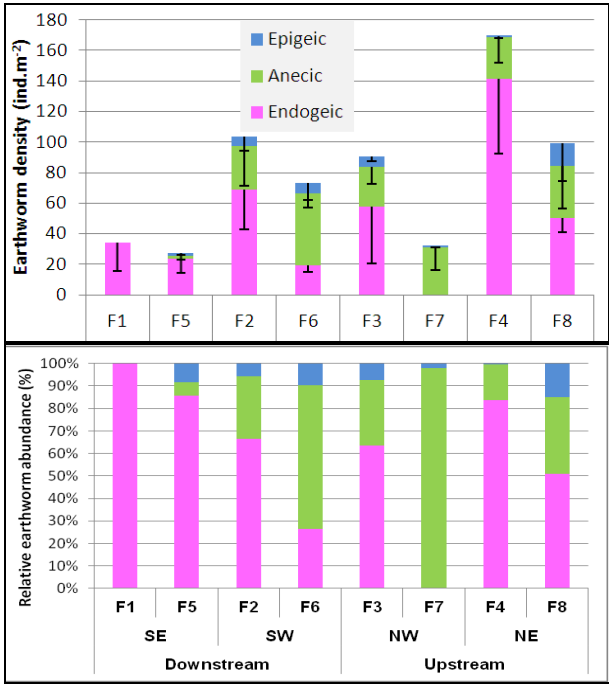


Figure 32. Densità relativa ed assoluta dei tre gruppi ecologici di lombrichi a Boario.

Struttura tassonomica della comunità di lombrichi

Il sito F3 aveva una struttura tassonomica distinta dalla PCA. Questo sito era caratterizzato da una comunità omogenea composta dalle specie LT, LC e NCCT.

Tabella 7 : ricchezza di specie (S), diversità (H') ed indice di equipartizione (J) per gli otto siti dell'area F

	F1	F5	F2	F6	F3	F7	F4	F8
ricchezza di specie (S)	1	8	9	6	5	4	9	7
diversità (H')	0	2,16	2,32	2,26	1,5	0,89	2,58	2,38
indice equipartizione (J)	di -	0,72	0,73	0,88	0,65	0,44	0,81	0,85

La PCA ha sottolineato la variabilità della comunità lombrichi dei siti F4 ed F8. La seconda component della PCA (15%) distingue la struttura tassonomica in accordo con l’uso del suolo. È stato spiegato da una grande densità di specie del gruppo anecico LT, e dall’epigea LC nei prati.

L’eterogeneità della comunità di F4 è piuttosto correlata con il primo asse (23%) e spiegata dalle specie *A. minuscula* Ami e *A. ch. chlorotica albanica* ACCA. L’eterogeneità della comunità in F8, è correlata con il secondo asse (15%), e spiegata dalle specie LT ed LC.

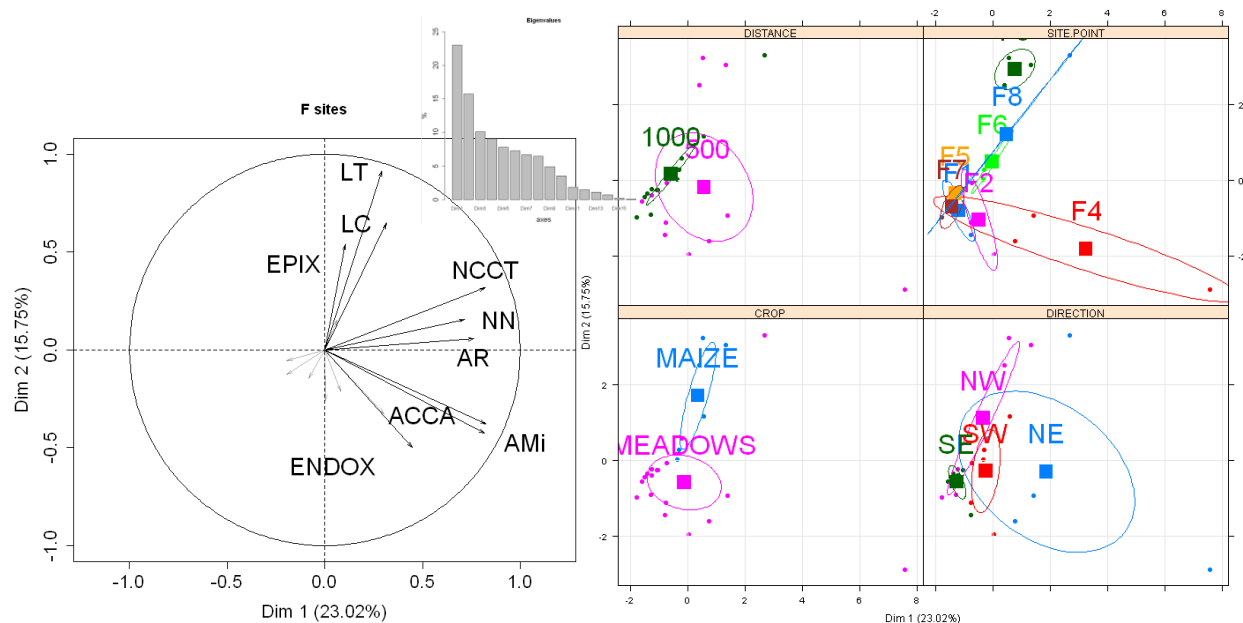


Figura 33. Grafico dei risultati della PCA ottenuti usando le prime due component principali (38%). Solo le variabili contribuenti al calcolo della PC ($\cos^2 > 0,3$) sono rappresentati nel grafico.

Relazione tra la comunità di lombrichi ed i parametri del suolo

La PCA ha opposto la comunità dei due siti F4 e F1, in accordo con la prima componente (77%), a causa della loro differenza in termini di biomassa, densità e ricchezza di specie (Figura 36a). ad eccezione della concentrazione dello stagno, nessun parametro del suolo ha permesso di spiegare le differenze della comunità tra questi due prati geograficamente vicini.

La PCA ha separato, in accordo con la prima componente, la struttura tassonomica del sito F4 dagli altri siti (Figura 36b). Il sito F4 è caratterizzato dalla presenza delle specie OTL, ACCA, AMi e dal morfotipo ARJ. Queste specie sono correlate con la concentrazione dello stagno.

La struttura degli altri siti è spiegata in accordo con la seconda component della PCA, e potrebbe essere correlata ad un gradiente di molibdeno. Tutte le concentrazioni di arsenico eccedono il limite di legge, sia quello relativo al verde pubblico e privato, che quello relativo ai siti industriali. (F1, F3, F4 e F8). L'arsenico riportato nel grafico è correlate

positivamente con la seconda component ed ha solo relazioni positive con le specie dei lombrichi. Nella PCA realizzata con i parametri del suolo, i siti vengono separati differemente. Essa ha mostrato una relazione negativa fra arsenico e NNG, ma questo morfo-tipo, essendo stato trovato solo in questo sito, rende difficoltoso stabilire una relazione vera.

Discussione

In quest'area le caratteristiche della comunità dei lombrichi erano difficili da interpretare, alla luce dei dati ambientali disponibili. Così come nell'area SIN, non abbiamo realmente visto l'impatto dell'arsenico sulla comunità di lombrichi. Ugualmente, un'elevata concentrazione anomala di stagno nel sito 4, non sembra dar luogo a conseguenze negative sulle comunità di lombrichi, ma non si può escludere un impatto sulla struttura tassonomica, in accordo con i nostri risultati.

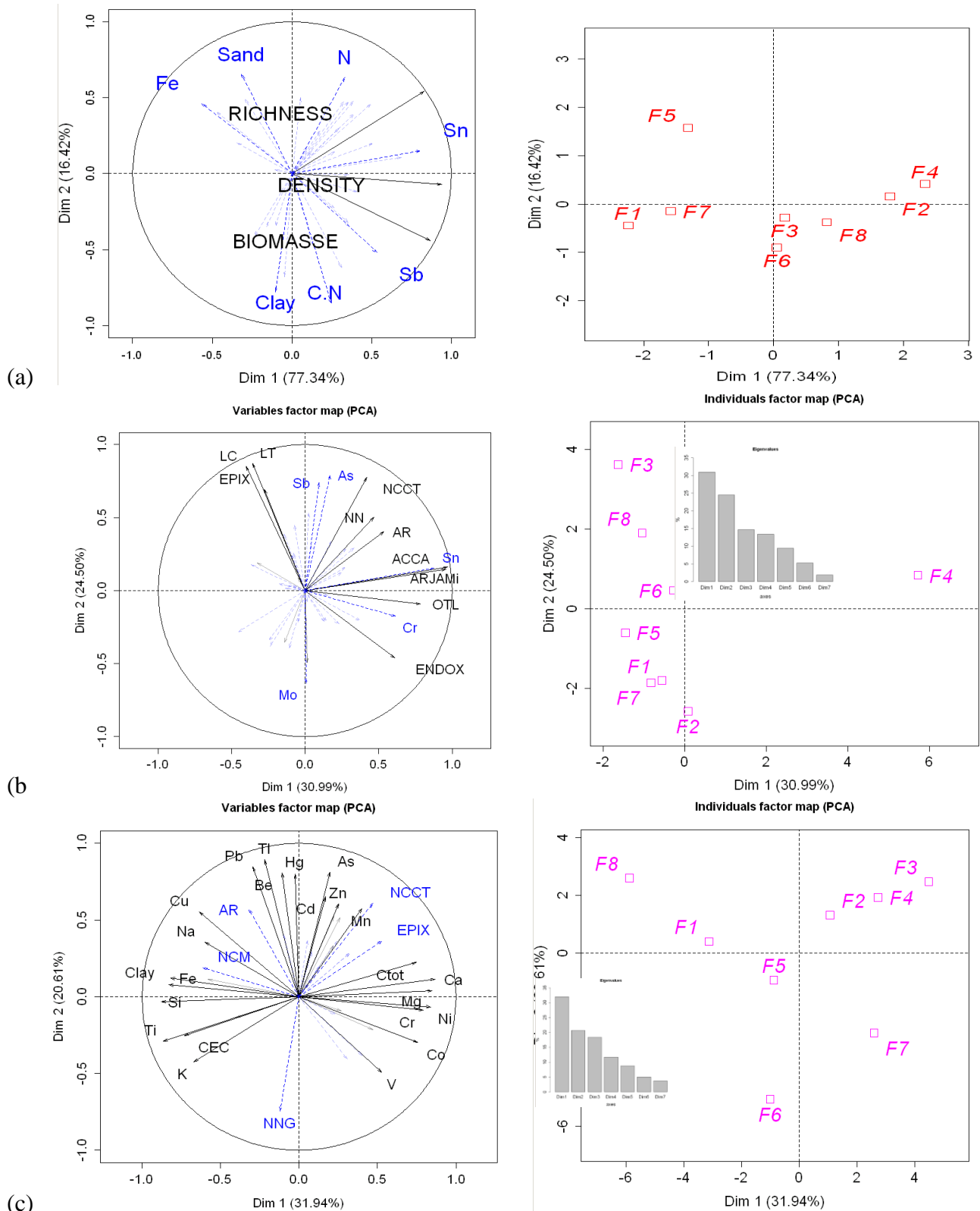


Figura 34. Analisi delle Componenti Principali dell'area di Darfo usando (a) caratteristiche delle comunità (densità, biomassa e diversità) (b) abbondanza dei taxa (c) o i parametri del suolo come variabili esplicative (nero) e variabili supplementari (blu) che non sono state usate per calcolare le componenti principali. Solo le variabili con un contributo significativo sono state proiettate ($\cos^2 < 0,5$).

5.7 Origgio (O)

DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

Questa area corrisponde alla sezione di autostrada Milano-Como vicino ad Origgio (siti O). Gli otto punti campionati sono stati disposti perpendicolarmente a 50m ed a 150m dall'autostrada. I lombrichi sono stati raccolti in accordo con la strategia "Line", parallelamente all'autostrada, prima del campionamento dei suoli. Qui la posizione è stata decisa dal team Rennes1 (D. Piron), e qualche volta adattata al contesto di campo in accordo con la posizione teorica GPS.

O1-O2: questi siti erano leggermente dislocati a sud a causa della presenza di un impianto di alberi nella posizione originale.

O3-O4: questi punti sono stati raccolti nella posizione GPS teorica. O3 era seminato a frumento, O4 a cavolo o rapa.

O5-O6: questi punti sono stati raccolti nella posizione GPS originale, ed erano situati nello stesso campo di frumento; sembra che questo campo fosse un ex maggese per questa coltura (durante il campionamento si notavano residui incorporati nel suolo con l'aratura).

O7-O8: questi punti erano leggermente dislocati a sud, e corrispondevano allo stesso campo coltivato a rapa o cavolo.



Figura 35. Mappa aerea dell'area di Origgio.

Caratteristiche della comunità di lombrichi Densità e biomassa dei lombrichi

Le densità e le biomasse dei lombrichi sono maggiori lungo il transect1 rispetto al transect2 (Figura 38). Lungo il transect1, le maggiori densità erano significativamente alte per 3 siti (O1, O2 e O4), rispetto al sito O3 (vicino alla strada). Questa bassa abbondanza potrebbe essere correlata a quelle ottenute nei siti O5 ed O6, che hanno lo stesso tipo di uso del

suolo (frumento). In contrasto, le densità di O7 ed O8 erano significativamente inferiori a quella ottenuta in O4, pur avendo lo stesso tipo di coltura (rapa).

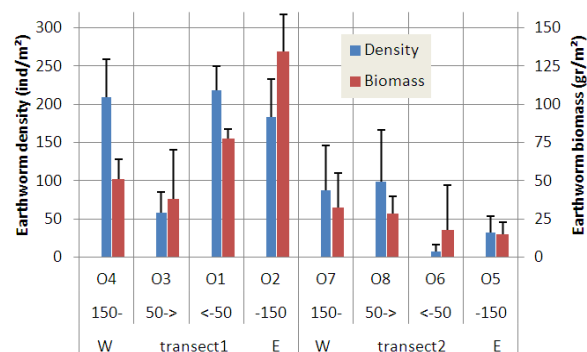


Figura 36. Densità ed abbondanze dei lombrichi negli otto punti campionati nell'area di Origgio.

Struttura funzionale



Figura 37. Densità assolute e relative dei gruppi ecologici.

Nell'area di Origgio non sono state identificate specie epigee (Figura 39). Nel transect1 la struttura funzionale era differente fra i due punti O2 ed O1, a causa dell'assenza del gruppo endogeno. La struttura funzionale dei siti O1 ed O3 era molto simile, seppur con densità molto differenti. In più i siti O4, O7 e O8 avevano una struttura ecologica simile. I siti O5 ed O6 presentavano solo lombrichi appartenenti al gruppo anecico, come nel caso di O2. Per tali motivi, la variabilità delle strutture funzionali fra ciascun sito era

difficilmente relazionabile con la densità e le biomasse dei lombrichi.

Struttura tassonomica

La struttura tassonomica della comunità di lombrichi differiva fra i tre tipi di uso del suolo, in accordo con la PCA (48%) (Figura 40). Si nota che il prato, presente nei siti O1 ed O2, è caratterizzato dalle specie *Ap. nocturna* NN e *Ap. meridionalis* NCM. Questi siti erano differenziati dalla prima componente (27%) dai siti O4 e O8, a causa della specie *L. terrestris* LT. La variabilità del sito O7 è dovuta alla presenza della

specie LT solo in un replicato. La PCA non ha permesso di separare la struttura tassonomica dei lombrichi a seconda della distanza dall'autostrada.

Tabella 8 : ricchezza di specie (S), diversità (H') ed indice di equipartizione (J) for the eight sites of O area

Sites →	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
ricchezza di specie (S)	4	2	3	3	4	2	4	5
diversità (H')	1,48	0,93	0,77	1,29	0,42	0,57	1,09	1,65
equipartizione (J)	0,74	0,93	0,49	0,81	0,21	0,57	0,54	0,71

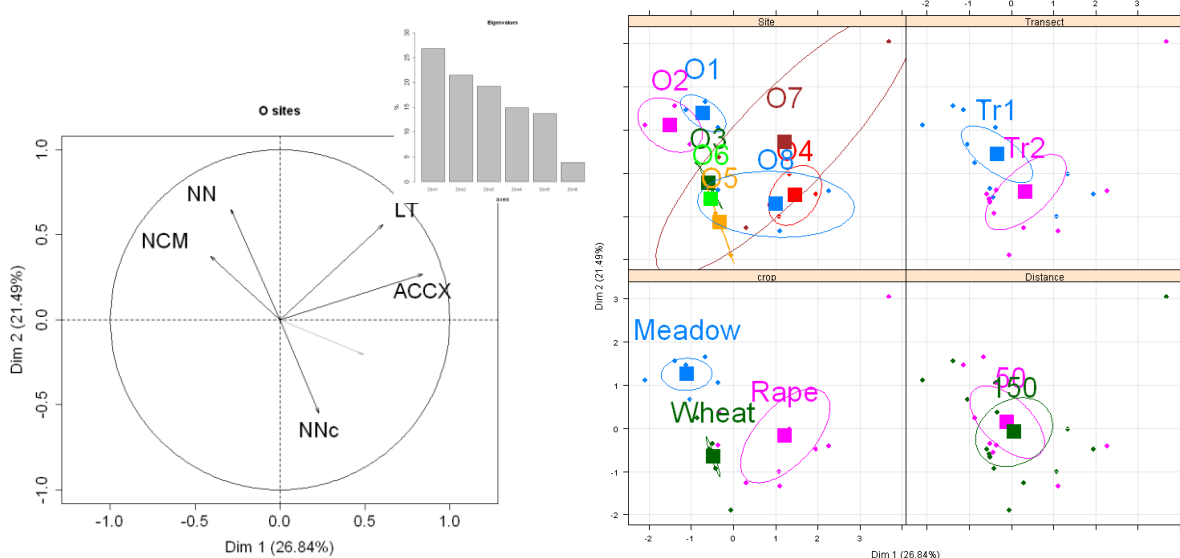


Figura 38. Grafico dei risultati della PCA ottenuti usando le due principali component (48%). Nel grafico sono proiettate solo le variabili contribuenti al calcolo delle PC ($\cos^2 > 0,3$).

In questa PCA la biomassa era altamente correlata con la prima componente (60%), la ricchezza di specie con la seconda, mentre la densità con nessuna delle due (Figura 40). I siti O2 e O5 sono separati in accordo con la prima componente della PCA a causa delle loro differenze di biomassa (Figura 36). La concentrazione di sodio e quella del piombo sono correlate con la biomassa dei lombrichi, ma la variabilità di questi elementi era troppo bassa per poter affermare che abbiano un impatto negativo sulla comunità dei lombrichi. La PCA condotta con la struttura tassonomica ha separato il sito O1 per la sua abbondanza delle specie NCM e NN; la concentrazione del sodio ed il rapporto C/N non hanno permesso di spiegare tale struttura tassonomica, mentre il C/N potrebbe essere una conseguenza dell'attività supportata da questa comunità di lombrichi. La PCA condotta con i risultati analitici dei parametri del suolo ha discriminato il punto O5, negativamente correlato

con la prima componente. Tale sito ha una minor concentrazione di nutrienti (Fe, Ca, Mg, ed Al) e di alcuni inquinanti quali Zn e Cu. In quest'area nessun taxon sembra essere impattato dalla differente composizione/qualità del suolo. La PCA non ha discriminato suoli di siti vicini all'autostrada (O1, O3, O8 e O6).

Discussione

L'esistenza di differenze all'interno della comunità dei lombrichi imputabili alla vicinanza dell'autostrada, è molto difficile da determinare in questa area. L'uso del suolo invece genera grande influenza. Abbiamo notato un'alta variabilità fra le comunità, soprattutto nel caso di quelle in cui mancava il gruppo endogeno. Questo gruppo è quello maggiormente esposto alla contaminazione del suolo ([3], [23]), ma non sono stati trovati collegamenti.

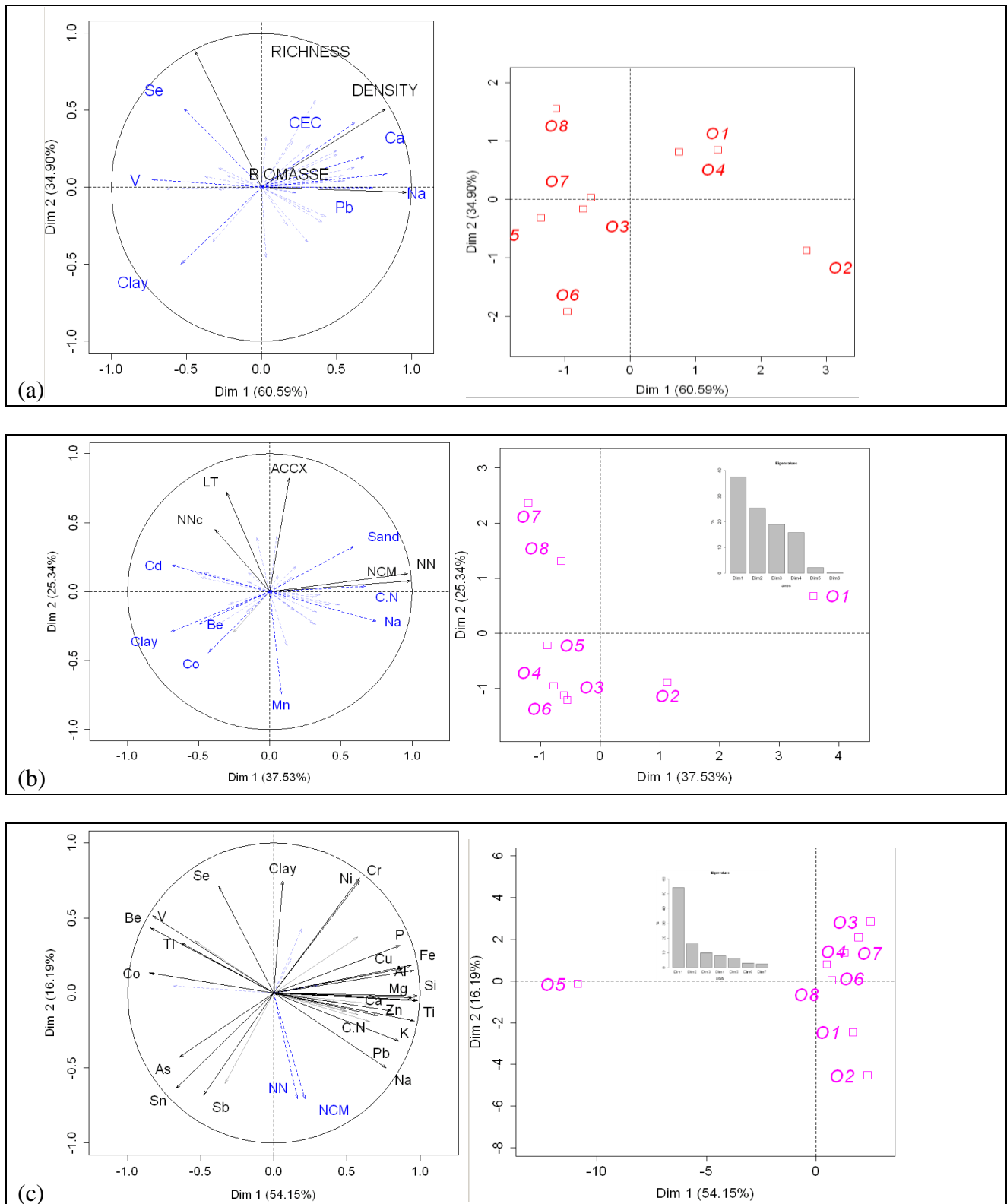


Figura 39. Analisi delle Componenti Principali dell'area di Origgio basata su (a) caratteristiche delle comunità dei lombrichi (densità, biomassa e diversità) (b) abbondanza dei taxa (c) o parametri del suolo quali variabili esplicative (nero) e variabili supplementari (blu) che non sono state usate per calcolare le componenti principali. Solo le variabili che davano un contributo significativo sono state proiettate nel grafico ($\cos^2 < 0,5$).

6. Caratteristiche delle comunità di lombrichi quali bioindicatori nel monitoraggio dei suoli in Lombardia

Le aree studiate nel corso del progetto presentano alcune comunità di lombrichi in contrasto in termini di densità e diversità. Considerando la densità, le aree potrebbero essere classificate come sfavorevoli, come l'area di Parona (P), favorevoli come nel caso di Cr e V (con una mediana di 150-200 ind. m⁻²), siti con densità intermedia (con mediana attorno a 100 ind. m⁻²), ed infine aree con alta variabilità nella propria comunità come nel caso di S (Figura 42).

In base alla loro ricchezza di specie, le aree potrebbero essere separate in due gruppi: uno con basso potenziale di diversità (P, It e O) (Max=5), e un altro con alto potenziale (V, Cr, S ed F) (Max=11). Abbiamo notato che le aree Cr ed F presentano una variabilità interna nella ricchezza di specie (Figura 43).

La PCA ha mostrato che i singoli parametri relativi ai lombrichi non sono semplici da relazionare a quelli del suolo: ne deriva solo una debole correlazione tra densità e biomassa e la capacità di scambio cationico, oltre che con la concentrazione di azoto (Figura 44). Le due componenti calcolate da questa analisi (90%) suggeriscono la separazione di due gruppi di aree, di cui quello comprendente P, It ed O supporta bassa densità a diversificazione di lombrichi.

Questa classificazione basata sulle caratteristiche delle comunità di lombrichi non è supportata dalla PCA con le analisi del suolo (Figura 45). L'area P è quella maggiormente differenziata dalle due componenti della PCA (53%), cosa che può essere spiegata dalla tessitura sabbiosa e dalla bassa capacità di scambio cationico associata (CEC). La PCA realizzata con i taxa è poco discriminante per le aree; le prime due componenti permettono di discriminare solo il 20%. Qui l'associazione delle tre specie LRR, LRC ed ET era messa in risalto e permetteva di separare le due aree CR e V dalle altre. Nessun parametro del suolo era però correlato con queste specie; l'insieme di tutti i risultati ha avuto probabilmente un effetto mascherante osservato su scala dell'area.

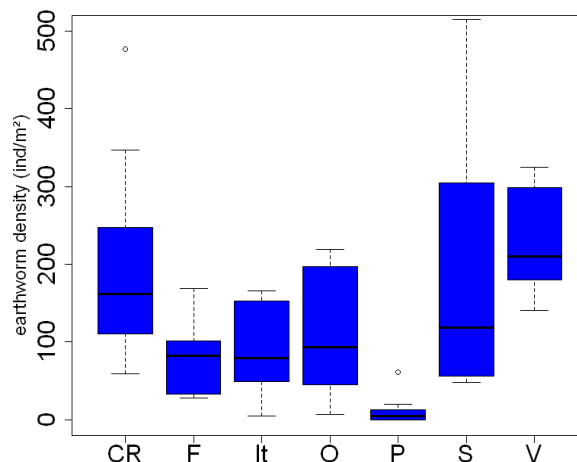


Figura 40. Rappresentazione con box plot della densità di lombrichi nelle sette aree.

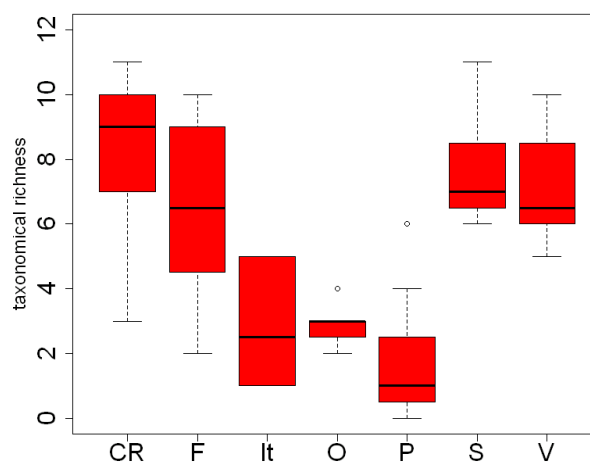


Figura 41. Rappresentazione con box plot della ricchezza di specie delle sette aree.

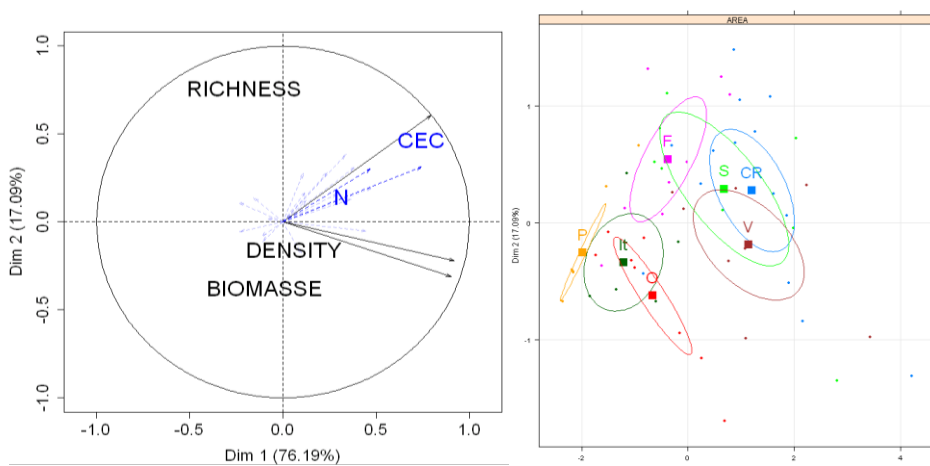


Figura 42. Risultati della PCA svolta con la biomassa, la densità e la ricchezza di specie ottenute per i 60 siti del progetto; i fattori supplementari (analisi del suolo) sono tracciati in blu. Solo le variabili significative sono state rappresentate ($\cos^2 < 0,5$).

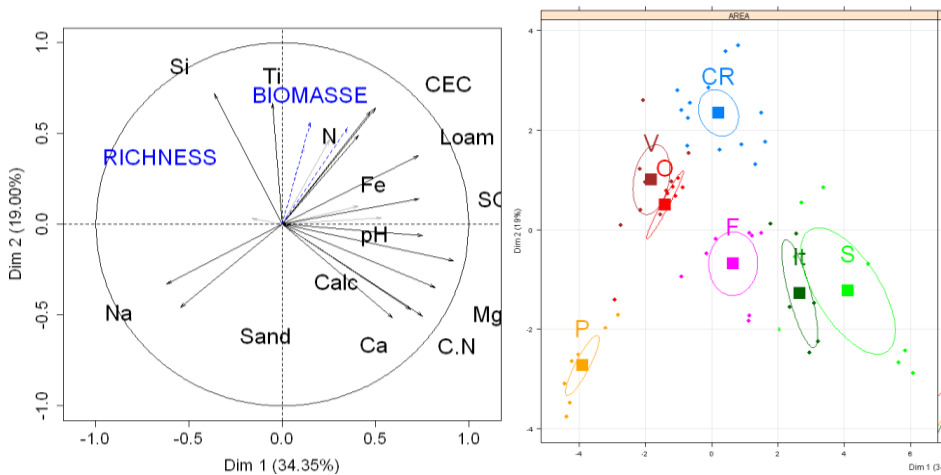


Figura 43. Risultati della PCA realizzata con le analisi del suolo dei 60 punti del progetto; i fattori supplementari (parametri dei lombrichi) sono stati proiettati in blu. Solo le variabili significative sono state tracciate nel grafico ($\cos^2 < 0,5$).

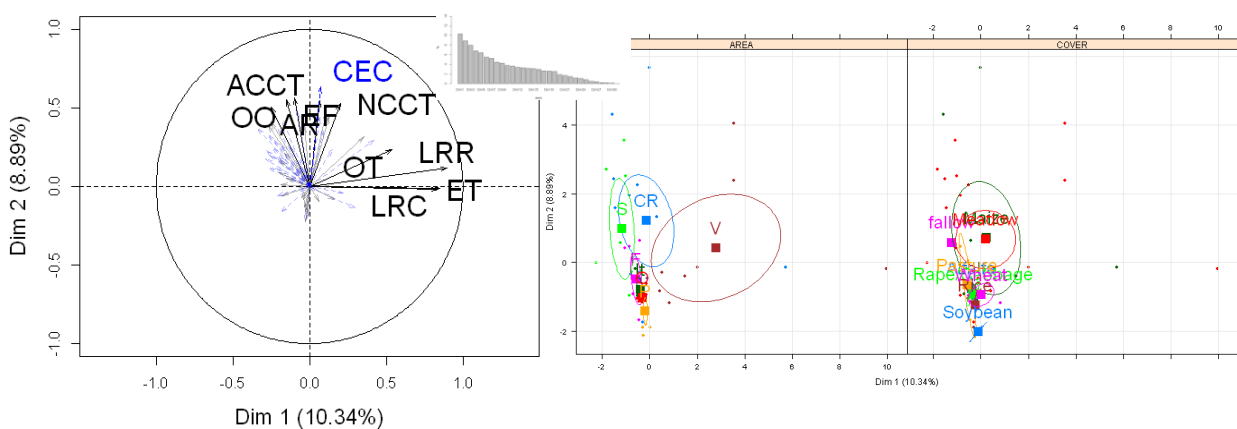


Figura 44. Risultati della PCA realizzata con le densità dei taxa per 60 punti del progetto; i fattori supplementari (analisi del suolo) sono proiettati in blu. Solo le variabili significative sono tracciate nel grafico ($\cos^2 < 0,3$).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Lee KE: *Earthworms – their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press, New York, 1985.
- [2] Edwards CA and Bohlen PJ: *Biology and Ecology of Earthworms*, 3rd ed., Chapman and Hall, London, UK, 1996.
- [3] Spurgeon DJ and Hopkin, SP: Seasonal variation in the abundance, biomass and biodiversity of earthworms in soils contaminated with metal emissions from a primary smelting works. *“Journal of Applied Ecology”*, 1999, n.36, 173-183.
- [4] Curry JP, Byrne D and Schmidt O: Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *“Eur. J. Soil Biol.”*, 2002, n.38, 127-130.
- [5] Chuang S-C and Chen JH: Role of diurnal rhythm of oxygen consumption in emergence from soil at night after heavy rain by earthworms. *“Invertebrate Biology”*, 2008, n.127, 80-86.
- [6] Hendrix PF, Mueller BR, Bruce RR, Langdale GW and Parmelee RW: Abundance and distribution of earthworms in relation to landscape factors on the Georgia Piedmont, U.S.A. *“Soil Biology and Biochemistry”*, 1992, n.24, 1357-1361.
- [7] Hubbard VC, Jordan D and Stecker JA: Earthworm response to rotation and tillage in a Missouri claypan soil. *Biol Fertil Soils*, 1999, n. 29, 343-347.
- [8] Bouché M, 1972. Lombriciens de France. *Ecologie systématique INRA, “Annales Zoo, Ecologie Animale”* 72-2, 672p.
- [9] Bouché MB, Gardner RH, 1984. Earthworm functions VIII, - Population estimation techniques. *Rev. Ecol. Biol. Sol* 21, 37-63.
- [10] Cluzeau D, Cannavacciuolo M, Pérès G., Indicateurs microbiologiques des sols : les lombriciens—Méthode d'échantillonnage dans les agrosystèmes tempérés. In: Institut Technique du Vin. 12ème Colloque Viticole et Œnologique, Paris, pp. 25-35, 1999.
- [11] Cannavacciuolo M, Bellido A, Cluzeau D, Gascuel C. and Tréhen P: Geostatistical approach for the study of earthworm distribution in grassland - Preliminary results. *“Applied Soil Ecology”* 1998, n.9, 345-349.
- [12] Paoletti MG and Gradenigo C: Lombrici CD-ROM. An easy identification key for Italian earthworms. Padova University, Lapis Padova, 1996.
- [13] Pielou EC: *Ecological Diversity*. Wiley, New York, 1975.
- [14] Husson F, Josse J and Lê S: FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *“Journal of Statistical Software”*. 2008: n.25, p.1-18.
- [15] Button M, Koch I and Reimer K J: Arsenic resistance and cycling in earthworms residing at a former gold mine in Canada. *“Environmental Pollution”*, 2012, n.169, p.74-80.
- [16] Langdon CJ, Pearce TG, Meharg AA Semple KT: Interactions between earthworms and arsenic in the soil environment: a review. *“Environmental Pollution”*, 2003, n.124, p.361-373.
- [17] Ireland MP: Metal accumulation by the earthworms *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena veneta* and *Eiseniella tetraedra* living in heavy metal polluted sites. *“Environmental Pollution”*, 1979, n.19, p.201-206.
- [18] Cluzeau D, Guernion M, Chaussod R, Martin-Laurent F, Villenave C, Cortet J, Ruiz-Camacho N, Pernin C, Mateille T, Philippot L, Bellido A, Rougé L, Arrouays D, Bispo A, Pérès G, 2012. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. *“European Journal of Soil Biology”*, Bioindication in Soil Ecosystems, 2012, n. 49, p.63-72.
- [19] Estevez B, N'Dayegamiye A, Coderre D., The effect on earthworm abundance and selected soil properties after 14 years of solid cattle manure and NPKMg fertilizer application. *“Can. J. Soil Sci.”* 1996, n.76, p.351-355.
- [20] Pérès G, Vandenbulcke F, Guernion M, Hedde M, Beguiristain T, Douay F, Houot S, Piron D, Richard A, Bispo A, Grand C, Galsomies L, Cluzeau D 2012. Earthworm indicators as tools for soil monitoring, characterization and risk assessment. An example from the national Bioindicator programme (France) *“Pedobiologia”*, 2012, n.54S, p.S77-S87.
- [21] Cluzeau D and Fayolle L : Impacts sur les lombriciens des traitements pesticides, en particulier cupriques, dans le vignoble champenois. *“Compte-rendu de l'Académie d'Agriculture française”*, 1988, p. 109-117.
- [22] Button M, Koch I, Reimer KJ: Arsenic resistance and cycling in earthworms residing at a former gold mine in Canada. *Environmental Pollution, Interactions Between Indoor and Outdoor Air Pollution - Trends and Scientific Challenges Ozone, Climate Change and Forests* 2012, n;169, p.74-80.
- [23] Nahmani J, Lavelle P, Lapied E, van Oort F: Effects of heavy metal soil pollution on earthworm communities in the north of France: The 7th international symposium on earthworm ecology · Cardiff · Wales · *“Pedobiologia”*, 2003; n.47: p.663 - 669.

Capitolo XI: Radionuclidi gamma emittenti

Vengono presentati i risultati della seconda fase del Soil Project riguardanti la radioattività dei suoli. Scopo del progetto era di valutare il contenuto di ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs and ^{40}K in sette aree della regione Lombardia ad elevata pressione antropica. Le attività di ^{60}Co e ^{134}Cs sono risultate $< 0,5$ and $0,7 \text{ Bq kg}^{-1}$ rispettivamente. Le attività di ^{137}Cs variano da $1,5$ a $29,4 \text{ kBq/m}^2$ e in generale concordano con la distribuzione geografica evidenziata nel campionamento della prima fase. I valori di ^{40}K variano da 462 a 1068 Bq kg^{-1} e rispecchiano anche in questo caso i valori misurati nella prima fase del progetto. I risultati di questa seconda campagna di monitoraggio mostrano come nei campioni prelevati non ci sia evidenza di contaminazione accidentale o dolosa da ^{60}Co , ^{134}Cs e ^{137}Cs .

1. Introduzione

Viene presentato il lavoro svolto dall'Università Cattolica di Piacenza riguardante la radioattività dei terreni nell'ambito della seconda fase del Soil Project (2013-2014).

Scopo specifico del lavoro era di determinare la radioattività dei terreni campionati nelle sette aree della Regione Lombardia illustrate nel Capitolo VI. In particolare sono stati misurati i radionuclidi artificiali ^{137}Cs , ^{134}Cs e ^{60}Co ed il radionuclide naturale ^{40}K , tutti gamma emittenti.

2. Materiali e metodi

Le aree oggetto del monitoraggio in questa fase sono sette indicate come: Viscolube, Autostrada, Broni, Brescia, Darfo, Treviglio, Parona.

In totale sono stati prelevati da AEIFORIA 67 campioni di suolo dalle 7 aree suddette ed analizzati per spettrometria gamma diretta dal Laboratorio Radioisotopi.

I valori di radioattività dei quattro radionuclidi sono stati espressi come Bq/kg di terreno secco. Solo per il ^{137}Cs sono stati espressi anche come kBq/m^2 . I valori di attività del ^{137}Cs sono riferiti alla data del 21.09.2011, data a cui sono stati riferiti anche i valori dei campioni della prima fase del progetto.

Nel caso in cui il campione non presentasse radioattività quantificabile per un dato radionuclide, è stata riportata la minima attività rivelabile (MDA), espressa al livello di confidenza del 95%.

Per i dettagli riguardanti modalità di prelievo, manipolazione del campione, analisi e espressione dei

dati si rimanda alla descrizione riportata nel paragrafo 2 del Capitolo II "Radionuclidi in campioni di suolo della Regione Lombardia".

3. Risultati e Discussione

3.1 Attività di ^{60}Co e di ^{134}Cs

Non sono state riscontrate quantità rivelabili né di ^{60}Co né di ^{134}Cs nei campioni analizzati. La loro attività è sempre inferiore al limite di rivelazione del metodo impiegato: $0,5$ e $0,7 \text{ Bq/kg}$ per il ^{60}Co e il ^{134}Cs rispettivamente (Tabella 1). È quindi possibile escludere contaminazione accidentale o dolosa da ^{60}Co e da ^{134}Cs .

Tabella 1: Attività di ^{60}Co e di ^{134}Cs nei campioni di terreno: sono riportate le MDA, espresse in Bq/kg di terreno secco

Campione	^{60}Co Bq/kg	^{134}Cs Bq/kg
Tutti i campioni analizzati	$< 0,5$	$< 0,7$

3.2 Attività di ^{137}Cs e di ^{40}K

Le attività di ^{137}Cs per ciascun campione di terreno sono riportate in Appendice A.1, espresse in Bq/kg e in kBq/m^2 . Le attività di ^{40}K sono riportate in Appendice A.2, espresse in Bq/kg .

In Tabella 2 sono riportate le medie aritmetiche e le deviazioni standard dell'attività di ^{137}Cs e di ^{40}K per ogni area oggetto di studio.

Tabella 2: Medie aritmetiche e deviazioni standard delle attività di ^{137}Cs e ^{40}K nei campioni di suolo. Solo per il ^{137}Cs sono riportati anche i valori minimi e massimi

Aree di monitoraggio	Sigla campioni	Attività antropica	Numero campioni	^{137}Cs			^{40}K	
				kBq/m^2			Bq/kg	
				Media \pm ds	Minimo	Massimo	Media \pm ds	Media \pm ds
Viscolube	V	Rigenerazione di oli esausti	8	$4,8 \pm 1,1$	3,3	6,6	$13,4 \pm 3,2$	567 ± 39
Autostrada	O	Traffico veicolare intenso	8	$7,2 \pm 0,6$	6,4	8,3	$20,1 \pm 1,6$	643 ± 8
Broni	IT	Cementificio	9	$2,2 \pm 0,4$	1,5	2,9	$6,1 \pm 1,1$	600 ± 60
Brescia	S	Ex-industria chimica	8	$6,7 \pm 2,3$	2,4	11,3	$18,5 \pm 6,4$	765 ± 44
Darfo	F	Ex-fonderia	8	$18,6 \pm 6,9$	8,6	29,4	$51,8 \pm 19,2$	871 ± 95
Treviglio	CR	Dispersione di Cr(VI)	14	$9,8 \pm 2,7$	6,3	15,4	$27,1 \pm 7,4$	676 ± 110
Parona	P	Termovalorizzatore	12	$3,8 \pm 0,9$	2,5	4,9	$10,7 \pm 2,5$	603 ± 30

Le attività di ^{137}Cs variano da 1,5 a 29,4 kBq/m^2 (corrispondenti a 4 - 82 Bq/kg). I terreni con maggiore concentrazione di ^{137}Cs sono quelli campionati nella ex-fonderia (Darfo: $18,6 \pm 6,9 \text{ kBq/m}^2$) seguiti dalla zona con dispersione di Cr(VI) (Treviglio: $9,8 \pm 2,7 \text{ kBq/m}^2$). I terreni con attività più bassa sono quelli campionati nell'area interessata dal cementificio in provincia di Pavia (Broni: $2,2 \pm 0,4 \text{ kBq/m}^2$).

In generale le attività di ^{137}Cs concordano con la distribuzione geografica evidenziata nel campionamento della prima fase e derivante dal fallout dell'incidente di Chernobyl del 1986. Nei campioni prelevati non c'è evidenza di contaminazione accidentale o dolosa da ^{137}Cs .

Le attività di ^{40}K variano da 462 a 1068 Bq/kg e rispecchiano anche in questo caso i valori misurati nella prima fase del progetto.

APPENDICE A.1

Attività di ^{137}Cs nei campioni di terreno, espressa in Bq/kg di terreno secco $\pm 2\sigma$ e in kBq/m^2 di terreno $\pm 2\sigma$, riferita al 21/09/2011

Campione	Bq/kg	$\pm 2\sigma$	kBq/m^2	$\pm 2\sigma$
V1	14,6	0,3	5,3	0,1
V2	11,3	0,3	4,1	0,1
V3	10,5	0,2	3,8	0,1
V4	17,6	0,3	6,3	0,1
V5	13,6	0,3	4,9	0,1
V6	8,9	0,2	3,2	0,1
V7	10,4	0,2	3,7	0,1
V8	15,8	0,3	5,7	0,1
O1	19,0	0,5	6,8	0,2
O2	21,9	0,4	7,9	0,2
O3	16,9	0,3	6,1	0,1
O4	19,3	0,5	6,9	0,2
O5	17,3	0,5	6,2	0,2
O6	19,6	0,4	7,0	0,2
O7	19,3	0,4	7,0	0,2
O8	19,9	0,3	7,2	0,1
IT1	5,1	0,3	1,8	0,1
IT2	4,0	0,2	1,5	0,1
IT3	5,1	0,3	1,8	0,1
IT4	6,2	0,2	2,2	0,1
IT5	6,0	0,3	2,1	0,1
IT6	5,4	0,4	2,0	0,1
IT7	7,7	0,4	2,8	0,1
IT8	6,3	0,3	2,3	0,1
IT9	6,1	0,3	2,2	0,1
S1	15,3	0,3	5,5	0,1
S2	16,4	0,3	5,9	0,1
S3	30,3	0,4	10,9	0,1
S4	18,0	0,3	6,5	0,1
S5	21,3	0,3	7,7	0,1
S6	6,4	0,2	2,3	0,1
S7	17,7	0,3	6,4	0,1
S8	17,5	0,3	6,3	0,1
F1	49,6	0,6	17,9	0,2
F2	41,2	0,6	14,8	0,2

F3	40,5	0,6	14,6	0,2
F4	63,2	0,7	22,8	0,3
F5	64,7	0,8	23,3	0,3
F6	22,7	0,5	8,2	0,2
F7	34,0	0,5	12,2	0,2
F8	77,7	0,8	28,0	0,3
CR1	23,0	0,4	8,3	0,1
CR2	26,5	0,4	9,6	0,1
CR3	20,2	0,3	7,3	0,1
CR4	18,3	0,3	6,6	0,1
CR5	41,2	0,5	14,8	0,2
CR6	27,5	0,4	9,9	0,1
CR7	20,5	0,3	7,4	0,1
CR8	30,2	0,4	10,9	0,2
CR9	24,9	0,4	9,0	0,1
CR10	16,8	0,3	6,1	0,1
CR11	40,1	0,4	14,4	0,2
CR12	23,5	0,4	8,5	0,1
CR13	31,2	0,4	11,2	0,2
CR14	22,0	0,3	7,9	0,1
P1	12,0	0,2	4,3	0,1
P2	8,6	0,3	3,1	0,1
P3	11,1	0,2	4,0	0,1
P4	12,6	0,3	4,6	0,1
P5	11,5	0,2	4,2	0,1
P6	6,7	0,3	2,4	0,1
P7	11,6	0,3	4,2	0,1
P8	7,6	0,4	2,7	0,1
P9	13,0	0,3	4,7	0,1
P10	12,6	0,3	4,5	0,1
P11	6,7	0,2	2,4	0,1
P12	8,4	0,2	3,0	0,1

APPENDICE A.2

Attività di ^{40}K nei campioni di terreno, espressa in Bq/kg di
terreno secco $\pm 2\sigma$

Campione	Bq/kg	$\pm 2\sigma$
V1	557,9	13,2
V2	627,6	14,6
V3	539,9	12,8
V4	536,8	12,8
V5	599,1	14,1
V6	583,5	13,7
V7	581,5	13,7
V8	505,5	12,1
O1	651,4	14,9
O2	642,6	14,7
O3	651,3	14,9
O4	644,4	14,8
O5	642,6	14,7
O6	630,3	14,5
O7	632,4	14,5
O8	647,3	14,8
IT1	599,9	13,8
IT2	667,2	15,2
IT3	691,9	15,7
IT4	635,5	14,5
IT5	537,3	12,5
IT6	598,4	13,7
IT7	605,1	13,9
IT8	561,0	13,0
IT9	503,2	11,8
S1	827,4	18,8
S2	756,3	17,4
S3	728,1	16,8
S4	720,5	16,6
S5	797,8	18,2
S6	756,2	17,4
S7	716,8	16,4
S8	818,7	18,6
F1	924,4	20,4
F2	829,9	18,5
F3	1.068,3	23,3
F4	904,4	20,0

F5	788,0	17,6
F6	796,3	17,9
F7	794,8	17,8
F8	865,3	19,2
CR1	692,4	16,1
CR2	694,4	16,0
CR3	568,4	13,4
CR4	600,4	14,1
CR5	725,3	16,9
CR6	462,2	11,2
CR7	605,9	14,2
CR8	821,7	18,7
CR9	849,2	19,3
CR10	613,5	14,4
CR11	807,9	18,4
CR12	764,3	17,5
CR13	610,2	14,4
CR14	642,9	15,0
P1	584,6	13,7
P2	617,4	14,2
P3	587,5	13,8
P4	599,3	13,8
P5	583,9	13,7
P6	582,7	13,5
P7	594,6	13,6
P8	569,7	13,2
P9	676,2	15,4
P10	643,1	15,0
P11	607,3	14,2
P12	586,7	13,5

Capitolo XII: Caratterizzazione microbiologica dei suoli

Lo scopo di questa nuova indagine è stato quello di ampliare i dati ottenuti nei precedenti studi in suddetta area, ponendo particolare attenzione alla correlazione tra qualità del suolo, inquinamento e biodiversità. Il progetto ha utilizzato un approccio multidisciplinare, chimico, fisico e biologico, al fine di avere una visione più vicina alla realtà circa la salute e il livello di qualità dei suoli. Pertanto, oltre alle diossine e ai furani, ai composti organici quali pesticidi organoclorurati, erbicidi, DDT, IPA, PCBs, alla tessitura dei suoli, ai radionuclidi ed ai bioindicatori (muschi), il monitoraggio ha previsto un'indagine volta a studiare la fertilità biologica dell'area per comprendere come possa essere influenzata dalle alte concentrazioni di contaminanti organici e inorganici.

Per ciascun campione di suolo sono state determinate sia la carica microbica (C della biomassa) che la relativa attività (mediante determinazione della CO₂ emessa), considerati indicatori di qualità e fertilità del suolo. Integrando questi risultati con i valori di C organico del suolo è stato possibile ottenere dei quozienti (qM, qCO₂ e qmic) che hanno permesso di determinare un indice sintetico di fertilità biologica (Ibf) in grado di rappresentare lo stato di salute di un suolo.

I risultati hanno indicato che i valori di IFB riescono a definire lo stato di salute di suoli inquinati da metalli pesanti o altre sostanze tossiche a causa della ridotta quantità di biomassa microbica che mostra una distribuzione sovrapponibile a quella di molti inquinanti presenti nei siti analizzati.

1. Introduzione

Il Progetto Soil ha visto l'impiego di metodiche innovative e sono stati presi in considerazione gli aspetti chimici, fisici e biologici relativi ai suoli stessi (Cenci *et al.*, 2006). I risultati ottenuti hanno permesso di identificare delle aree in cui gli elevati livelli di concentrazione di metalli pesanti sono perfetto accordo con la ridotta quantità di biomassa microbica presente. Solo attraverso un approccio multidisciplinare, chimico, fisico e biologico, si potrà avere una visione la più vicina alla realtà circa la salute e il livello di qualità dei suoli. Pertanto, oltre alle diossine e ai furani, ai composti organici quali pesticidi organoclorurati, erbicidi, DDT, IPA, PCBs, alla tessitura dei suoli, ai radionuclidi e a bioindicatori (muschi) per valutare le ricadute al suolo di metalli pesanti e composti organici il monitoraggio ha previsto una indagine volta a studiare la biodiversità dell'area per comprendere come possa essere influenzata dalle alte concentrazioni di contaminanti organici e inorganici. A tale scopo sono stati presi in considerazione alcuni gruppi di organismi che compongono le tre principali reti trofiche (micro, meso e macro). In questo modo sarà possibile comprendere se e in che misura la biodiversità del suolo venga influenzata da alti livelli di contaminanti organici e inorganici.

L'attività del CRA-Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo (CRA-RPS) è stata coordinata dalla Dott.ssa Anna Benedetti e si è inserita tra le attività di competenza dell'Università Cattolica

del Sacro Cuore di Piacenza, coordinate dal Prof. Gian Maria Beone, responsabile dell'intero progetto.

In particolare l'attività del CRA-RPS si è incentrata sullo studio della fertilità biologica dei suoli, ovvero quella determinata dall'interazione tra componente chimico-fisica del suolo e quella biologica. Tra gli organismi del suolo quelli più coinvolti nella gestione della fertilità biologica sono i microrganismi. Infatti i microrganismi possono essere utilizzati come indicatori della qualità del suolo perché svolgono delle funzioni chiave nella degradazione e nel ricircolo sia della sostanza organica che dei nutrienti e rispondono prontamente ai cambiamenti dell'ambiente. Inoltre l'attività microbica nel suolo rispecchia la somma di tutti i fattori che regolano la degradazione e la trasformazione dei nutrienti. È comunque estremamente difficile utilizzare i valori forniti dai parametri microbiologici poiché i microrganismi del suolo reagiscono molto rapidamente anche a variazioni stagionali e si adattano alle diverse necessità ambientali. Perciò diventa problematico distinguere fluttuazioni naturali da alterazioni causate da attività antropiche, specialmente quando il dato viene determinato sprovvisto di controllo. Diversi autori hanno proposto vari suggerimenti. Brookes (1995) ad esempio afferma che nessun indicatore dovrebbe essere utilizzato da solo, ma unitamente ad altri parametri correlati da utilizzare insieme come "controllo interno", es. C della biomassa e C organico totale del suolo. Quando i suoli presentano marcate variazioni rispetto a ciò che è considerato il valore "normale" in un particolare sistema di gestione del suolo, clima e tipo di suolo, tale valore diventa un indicatore del deterioramento e del cambiamento nelle funzioni

dell'ecosistema suolo. Infatti c'è una relazione quasi lineare tra queste due variabili, anche se ci possono essere rilevanti discrepanze tra suoli con diverse caratteristiche fisiche o suoli gestiti in modo diverso. Molti studi sono stati condotti circa la possibilità di utilizzare i parametri microbiologici e biochimici del suolo per caratterizzare la diversità microbica sia in termini genetici che funzionali definendo innanzi tutto se c'è vita nel suolo oppure no ed il suo ordine di grandezza, quindi è di fondamentale importanza capire quanto la popolazione vivente sia attiva e quali funzioni svolga, in fine sarà importante caratterizzare la struttura della comunità microbica e le relazioni che essa instaura con la pianta.

Da quanto sino ad ora discusso appare evidente che, sia pure con una certa difficoltà e con un certo margine di approssimazione, è possibile definire la diversità microbica di un suolo e di darne una caratterizzazione in termini di fluttuazioni naturali o non, seppur non in maniera diretta ed assoluta. Infatti non esistono veri e propri indici, intesi nel senso comune del termine, ma dei parametri che, se ben integrati, riescono a fornire indicazioni precise sul grado di fertilità biologica del suolo e sulla biodiversità ad essa associata. La caratterizzazione della diversità microbica di un suolo, e della sua biodiversità in genere, va perciò costruita per livelli di approssimazione.

In questo progetto, quindi, per ciascun campione di suolo sono state determinate sia la carica microbica (C della biomassa) che la relativa attività respirometrica (mediante determinazione della CO_2 emessa), considerati indicatori di qualità e fertilità del suolo. Integrando questi risultati con i valori di C organico del suolo è stato possibile ottenere dei quozienti (qM, qCO_2 e qMic) che hanno permesso di determinare un indice sintetico di fertilità biologica (Ibf) in grado di rappresentare lo stato di salute di un suolo (Benedetti et al., 2006).

2. Materiali e metodi

Per una descrizione dettagliata della locazione ed il prelievo nei singoli siti di campionamento si rimanda al

paragrafo 1 del Capitolo VI: "Caratterizzazione chimico-fisica dei campioni di suolo".

Una volta trasportati in laboratorio i campioni di suolo sono stati essiccati, setacciati a 2 mm e omogeneizzati mediante quartatura. A quel punto sono stati utilizzati per le seguenti analisi:

- Determinazione del C organico
- Determinazione della respirazione microbica
- Determinazione del C della biomassa microbica

La determinazione del C organico (C_{org}) è stata effettuata mediante analizzatore elementare di carbonio Rc 612 Leco (Metodo ufficiale n° VII.2 – Supplemento Ordinario G.U. n° 248 del 21.10.99), mentre la determinazione della respirazione microbica basale (C_{bas}) e cumulativa (C_{cum}) sono state effettuate secondo il metodo di Isermeyer (1952) e la determinazione della biomassa microbica è stata effettuata con il metodo della fumigazione-estrazione (Vance et al., 1987).

Queste prime analisi rappresentano il primo livello di conoscenza della fertilità biologica che, naturalmente, dovrà tener conto anche della caratterizzazione di base del suolo in termini fisici, chimici e biologici. Da tali analisi è stato possibile ricavare i valori del quoziente metabolico (qCO_2) e di mineralizzazione (qM) che rappresentano rispettivamente il livello dell'attività specifica di evoluzione di C- CO_2 in condizioni basali della biomassa microbica per unità di tempo, espresso in h^{-1} (Anderson & Domsch, 1993), e la misura dell'attività totale di mineralizzazione della frazione più labile della sostanza organica da parte della biomassa microbica (Dommergues, 1960). Il contenuto di sostanza organica è stato stimato indirettamente moltiplicando la concentrazione del carbonio organico per il coefficiente di conversione Van Belemen (1,724).

In questo modo è stato possibile determinare un indice di fertilità biologica (IFB), direttamente correlato con il grado di sostenibilità del suolo, mediante le seguenti tabelle di conversione.

Tabella 1: Punteggi assegnati a differenti intervalli di valori dei parametri

Parametri del suolo	Punteggio				
	1	2	3	4	5
C organico	<1	1 – 1,5	1,5 – 2	2 – 3	>3
Respirazione basale	<5	5 – 10	10 – 15	15 – 20	>20
Respirazione cumulativa	<100	100 – 250	250 – 400	400 – 600	>600
C biomassa	<100	100 – 200	200 – 300	300 – 400	>400
Quoziente metabolico	>0,4	0,3 – 0,4	0,2 – 0,3	0,1 – 0,2	>0,2
Quoziente di mineralizzazione	<1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	>4

Per ciascuno dei parametri descritti sono stati stabiliti 4 intervalli di valori a ciascuno dei quali viene assegnato il punteggio dell'intervallo a cui appartiene. La somma

algebrica dei punteggi per ciascun parametro da origine ad una scala di fertilità biologica riportata nella tabella sottostante.

Tabella 2: Scala di classi in funzione dell'indice di fertilità biologica (IBF)

Classe di fertilità	I	II	III	IV	V
	Molto bassa (allarme)	Bassa (Stress)	Media	Buona	Alta
IBF	0-6	6-12	12-18	18-24	25-30

NOTA: è consigliabile utilizzare l'indice proposto per suoli a tessitura franco-argillosa e valori di pH compresi tra 6,5 e 7,5. Inoltre è da tenere in considerazione che gli intervalli di valori proposti per i singoli parametri biochimici sono specifici per ambienti dell'area mediterranea. Infine gli stessi sono stati tarati per un tipo di analisi di laboratorio che prevede essiccazione del terreno e ricondizionamento a temperatura ed umidità ottimali per l'attività microbica.

3. Risultati e Discussione

I risultati ottenuti ci permettono di valutare il primo livello di biodiversità fondato sulla caratterizzazione di base del suolo in termini fisici, chimici e biologici. In quest'ultimo caso sarà molto utile definire in primo luogo la fertilità biologica del suolo come parametro routinario, veloce e sintetico. In questo modo sarà possibile determinare un indice di fertilità biologica, direttamente correlato con il grado di biodiversità e sostenibilità del suolo. I risultati delle analisi sono riportati nelle tabella sottostanti. Come si può osservare dai dati ottenuti, il valore di fertilità biologica si sviluppa in modo diversificato nelle diverse zone di campionamento, soprattutto in considerazione dei livelli medio alti di sostanza organica del suolo in rapporto ad una minore concentrazione della biomassa microbica presente. Nel sito di interesse nazionale (S2), si presenta uno stato di stress pre-allarme derivato da livelli di sostanza organica e biomassa microbica molto bassi. Il sito di campionamento Viscolube presenta un livello di fertilità biologica medio, in accordo con le dimensioni del pool microbico e con il tenore di sostanza organica medio. In questi ultimi siti il tenore di sostanza organica è molto basso, e la popolazione microbica presente è addirittura inferiore alle dimensioni del pool carbonioso

presente. Gli 8 siti della fonderia, vedi Tabella 7, presentano un livello di fertilità biologica medio-buono. Nel sito del cementificio, vedi Tabella 8, due degli 8 siti campionati presentano situazioni critiche, IT3 e IT6, con un indice di fertilità biologica stress pre-allarme. Per seguire l'attività metabolica dei microorganismi è stato determinato il carbonio della biomassa microbica del suolo. Le modificazioni cui va incontro la sostanza organica sono determinate dalla nutrizione delle popolazioni microbiche. Lo status della frazione vivente della sostanza organica del suolo, ovvero l'attività della biomassa microbica, indica come vi sia una condizione di estrema pericolosità nei siti O1-O8, (Tabella 9) in cui 3 siti campionati presentano un livello molto critico di fertilità biologica in accordo con i risultati delle analisi chimiche, le quali denunciano presenza di metalli pesanti e valori molto bassi di carbonio della biomassa microbica, i quali creano una fonte poco disponibile di sostanza organica per l'attività dei microorganismi presenti.

Dai dati della respirazione microbica, della biomassa microbica e della sostanza organica nel suolo è stato possibile calcolare i quozienti metabolici e di mineralizzazione della sostanza organica qCO_2 e qM . La somma algebrica dei parametri analizzati è in grado di fornire l'indice IBF.

Tabella 3: Risultati sito Treviglio. TOC (Carbonio Organico); Res Bas (Respirazione basale); Res Cum (Respirazione Cumulativa); C micr(Biomassa Microbica; qM (quoziente di mineralizzazione); qCO₂ (quoziente metabolico); IBF (indice di fertilità biologica).

sigla	TOC (%)	Res Bas (ppm)	Res Cum (%)	Cmicr (ppm)	qM (%)	qCO ₂ (10 ⁻²)	IBF	FERTILITA'
CR1	1,5	5,7	285,518	114	2,0	0,21	16	MEDIA
CR2	2,2	15,2	765,621	141	3,5	0,45	20	BUONA
CR3	1,8	9,6	558,619	98	3,1	0,41	16	MEDIA
CR4	1,3	8,8	381,951	149	2,9	0,25	17	MEDIA
CR5	3,5	14,6	756,792	476	2,2	0,13	25	ALTA
CR6	3,2	12,3	615,320	251	1,9	0,2	21	BUONA
CR7	2,0	8,7	460,163	336	2,3	0,11	21	BUONA
CR8	2,5	8,8	465,746	180	1,9	0,2	18	MEDIA
CR9	1,9	13,4	618,446	168	3,3	0,33	19	BUONA
CR10	2,2	11,1	625,305	54	2,8	0,85	17	MEDIA
CR11	2,2	13,0	672,055	91	3,1	0,6	18	MEDIA
CR12	2,0	11,6	479,803	185	2,4	0,26	19	BUONA
CR13	1,8	10,9	576,819	35	3,3	1,28	17	MEDIA
CR14	1,3	8,1	375,618	62	2,8	0,54	14	MEDIA

Tabella 4: Risultati sito Brescia. TOC (Carbonio Organico); Res Bas (Respirazione basale); Res Cum (Respirazione Cumulativa); C micr(Biomassa Microbica; qM (quoziente di mineralizzazione); qCO₂ (quoziente metabolico); IBF (indice di fertilità biologica).

sigla	TOC (%)	Res Bas (ppm)	Res Cum (%)	Cmicr (ppm)	qM (%)	qCO ₂ (10 ⁻²)	IBF	FERTILITA'
S1	2,4	8,1	329,0	4,35	1,36	7,78	13	MEDIA
S2	1,6	6,4	278,7	50,89	1,75	0,52	12	BASSA-STRESS
S3	2,3	6,3	268,9	26,4	1,2	0,99	13	MEDIA
S4	2,3	15,4	328,4	114,78	1,45	0,56	16	MEDIA
S5	2,0	11,4	387,8	33,77	1,93	1,41	14	MEDIA
S6	1,4	8,8	289,6	12	2,13	3,04	12	BASSA-STRESS
S7	2,3	13,5	281,8	236,87	1,23	0,24	18	MEDIA
S8	2,0	13,6	301,9	58,06	1,51	0,97	13	MEDIA

Tabella 5: Risultati sito Viscolube. TOC (Carbonio Organico); Res Bas (Respirazione basale); Res Cum (Respirazione Cumulativa); C micr(Biomassa Microbica; qM (quoziente di mineralizzazione); qCO₂ (quoziente metabolico); IBF (indice di fertilità biologica).

	TOC (%)	Res Bas (ppm)	Res Cum (%)	Cmicr (ppm)	qM (%)	qCO ₂ (10 ⁻²)	IBF	FERTILITA'
V1	1,55	13,4	386	23	2,5	2,39	14	MEDIA
V2	2,29	14,1	509	213	2,2	0,28	20	BUONA
V3	1,59	12,2	318	194	2,0	0,26	16	MEDIA
V4	1,54	16,9	421	76	2,7	0,93	16	MEDIA
V5	1,76	14,3	367	59	2,1	1,01	14	MEDIA
V6	1,31	11,8	255	146	1,9	0,34	14	MEDIA
V7	2,04	15,4	423	95	2,1	0,67	17	MEDIA
V8	2,21	15,6	489	181	2,2	0,36	19	BUONA

Tabella 6: Risultati sito Parona TOC (Carbonio Organico); Res Bas (Respirazione basale); Res Cum (Respirazione Cumulativa); C micr(Biomassa Microbica; qM (quoziente di mineralizzazione); qCO₂ (quoziente metabolico); IBF (indice di fertilità biologica).

	TOC (%)	Res Bas (ppm)	Res Cum (%)	Cmicr (ppm)	qM (%)	qCO ₂ (10 ⁻²)	IBF	FERTILITA'
P1	1,78	18,0	247	226	1,4	0,33	16	MEDIA
P2	0,89	5,7	161	134	1,8	0,18	13	MEDIA
P3	0,92	10,2	151	59	1,6	0,72	10	BASSA-STRESS
P4	1,29	15,3	217	144	1,7	0,44	13	MEDIA
P5	1,33	57,8	456	171	3,4	1,41	18	MEDIA
P6	0,67	9,7	241	140	3,6	0,29	14	MEDIA
P7	1,26	8,8	332	119	2,6	0,31	14	MEDIA
P8	1,39	14,7	256	124	1,8	0,49	13	MEDIA
P9	0,94	12,0	228	172	2,4	0,29	14	MEDIA
P10	0,68	11,6	381	206	5,6	0,24	18	MEDIA
P11	0,88	10,3	162	104	1,8	0,41	11	BASSA-STRESS
P12	0,79	8,8	227	138	2,9	0,26	13	MEDIA

Tabella 7: Risultati sito Fonderia. TOC (Carbonio Organico); Res Bas (Respirazione basale); Res Cum (Respirazione Cumulativa); C micr(Biomassa Microbica; qM (quoziente di mineralizzazione); qCO₂ (quoziente metabolico); IBF (indice di fertilità biologica).

	TOC (%)	Res Bas (ppm)	Res Cum (%)	Cmicr (ppm)	qM (%)	qCO ₂ (10 ⁻²)	IBF	FERTILITA'
F1	1,66	24,8	326	118	2,0	0,88	16	MEDIA
F2	2,36	28,6	495	247	2,1	0,48	20	BUONA
F3	1,7	26,3	362	69	2,1	1,58	16	MEDIA
F4	2,27	26,0	422	46	1,9	2,36	17	MEDIA
F5	2,87	29,0	422	405	1,5	0,3	23	BUONA
F6	1,25	26,6	324	143	2,6	0,77	16	MEDIA
F7	1,54	27,4	347	134	2,3	0,86	17	MEDIA
F8	3,28	36,6	465	95	1,4	1,6	18	MEDIA

Tabella 8: Risultati sito Cementificio. TOC (Carbonio Organico); Res Bas (Respirazione basale); Res Cum (Respirazione Cumulativa); C micr(Biomassa Microbica; qM (quoziente di mineralizzazione); qCO₂ (quoziente metabolico); IBF (indice di fertilità biologica).

	TOC (%)	Res Bas (ppm)	Res Cum (%)	Cmicr (ppm)	qM (%)	qCO ₂ (10 ⁻²)	MIO IBF	FERTILITA'
IT1	2,06	28,2	542	45	2,6	2,63	18	MEDIA
IT2	1,4	35,1	263	67	1,9	2,18	14	MEDIA
IT3	1,42	10,4	250	76	1,8	0,57	11	BASSA-STRESS
IT4	1,57	14,1	300	140	1,9	0,42	14	MEDIA
IT5	1,22	8,7	202	145	1,7	0,25	13	MEDIA
IT6	1,33	13,6	210	122	1,6	0,46	12	BASSA-STRESS
IT7	2,02	19,6	349	130	1,7	0,63	16	MEDIA
IT8	1,42	16,7	287	192	2,0	0,36	16	MEDIA

Tabella 9: Risultati sito Autostrada. TOC (Carbonio Organico); Res Bas (Respirazione basale); Res Cum (Respirazione Cumulativa); C micr(Biomassa Microbica; qM (quoziente di mineralizzazione); qCO₂ (quoziente metabolico); IBF (indice di fertilità biologica).

	TOC (%)	Res Bas (ppm)	Res Cum (%)	Cmicr (ppm)	qM (%)	qCO ₂ (10 ⁻²)	IBF	FERTILITA'
O1	1,38	9,8	237	43	1,7	0,95	10	BASSA-STRESS
O2	1,55	6,5	234	132	1,5	0,21	14	MEDIA
O3	1,18	6,7	172	118	1,5	0,24	13	MEDIA
O3	1,33	6,4	236	54	1,8	0,49	10	BASSA-STRESS
O5	1,13	5,1	208	110	1,8	0,19	14	MEDIA
O6	1,7	7,9	237	35	1,4	0,94	11	BASSA-STRESS
O7	1,57	5,9	222	96	1,4	0,25	13	MEDIA
O8	1,67	9,4	245	164	1,5	0,24	14	MEDIA

4. Conclusione

Nel presente lavoro sono stati considerati molteplici fattori al fine di caratterizzare lo stato di salute del suolo e di valutare e tutelare la biodiversità.

La situazione non può essere descritta solo attraverso l'utilizzo dei parametri chimici, infatti è solo attraverso la determinazione degli indicatori biologici che è possibile studiare l'attività dei microorganismi, i quali esplicano la propria attività nei processi pedogenetici, nella nutrizione delle piante, intervenendo infatti nella mineralizzazione della sostanza organica, nella fissazione dell'azoto, nella formazione dell'humus, ed inoltre agiscono sulla mobilizzazione degli elementi minerali. Essi rappresentano quindi una componente essenziale per la fertilità biologica dei terreni, e svolgono un ruolo insostituibile, in mancanza del quale il suolo rappresenterebbe solamente uno strato inerte. Infatti, nel caso studio, l'analisi dei parametri chimici in interazione con quelli biologici hanno fornito un'altra chiave di lettura, in cui molti siti, che dal punto di vista chimico si potevano definire fertili, visto il contenuto medio alto di sostanza organica, hanno mostrato una situazione molto compromettente per il loro stato di salute globale, evidenziando alcuni stati di *stress pre-allarme*.

Nella definizione della qualità del suolo, è necessario avere informazioni le più dettagliate possibili, ed è fondamentale considerare più parametri, indici, ed indicatori. Alcuni di questi parametri sono altamente correlati fra loro, per cui stimarli complessivamente potrebbe portare ad ottenere delle indicazioni ridondanti.

Nella gestione del suolo agrario non bisogna sottovalutare gli aspetti legati alla vita microbica, nodo essenziale degli equilibri degli elementi nutritivi.

La perdita della fertilità biologica rappresenta il primo passo verso la perdita della risorsa suolo. La fertilità biologica, molto spesso poco considerata, è un parametro fondamentale che il più delle volte viene ignorato, e attualmente si assiste sempre più a fenomeni di antropizzazione, in cui pratiche agricole intensive e la scarsa cura dell'ambiente portano ad un

impoverimento della sostanza organica e della biodiversità dei suoli.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Anderson T.H. & Domsh K.H. 1985. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biol. Fertil. Soil* 1. 81-89.
- [2] Benedetti A., Dell'Abate M.T., Mocali S., Pompili L. (2006). Indicatori microbiologici e biochimici della qualità del suolo. In: *ATLAS - Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Osservatorio Nazionale Podologico. Edizioni Delta Grafica, Città di Castello (Perugia).
- [3] Brookes P.C.: The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soil* 19, 269-279 (1995).
- [4] Cenci, R.M., Lodigiani, G., Benedetti, A., Beone, G.M., Bouraoui, F., Brangi, A., Brenna, S., Carlon, C., Casale, M., Filippi, N., Gaulio, W., Musmeci, L., Pompili, L., Privitera, M., Puglisi, M., Sena, F., UmLauf, G., (2006). Il suolo della Provincia di Pavia. Valutazione della concentrazione di composti organici e inorganici persistenti attraverso lo sviluppo di una rete di monitoraggio del suolo. EUR 22132 IT. ISBN 10-92-894-8619-8. 128 pp.
- [5] Cenci, R.M. and Sena, F. (Editors). Cenci, R.M., Sena, F., Filippi, N., Lodigiani, G., Beone, G.M., Christoph, E., Mariani, G., Spalla, S., Locoro, G., Skejo, H., (2007). Il suolo della Provincia di Pavia. Valutazione della concentrazione di composti organici e inorganici persistenti attraverso lo sviluppo di una rete di monitoraggio del suolo (Parte Due). EUR 22132 IT/2. ISBN 92-79-03877-X. 238 pp.
- [6] Dommergues, Y. 1960, La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans le sols. *L'Agronomie tropicale* XV(I), 54-60.
- [7] Isermeyer H (1952) Eine Einfache Methode sur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Z Pflanzenernah Bodenk* 56: 6-38.
- [8] Vance E.D., Brookes P.C. & Jenkinson D.S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19, 703-707.

Capitolo XIII: Applicazione di un biosensore luminescente per la valutazione della tossicità da diossina e composti diossino-simili

Il DR-Calux (Dioxin-Responsive Chemically Activated Luciferase eXpression) è un biosensore cellulare che è stato sviluppato a partire da cellule di carcinoma epatico di topo di ratto (linea H4IIE), nelle quali è stato inserito il gene responsabile della produzione di luciferasi sottoposto al controllo del gene DRE (Dioxin-responsive element). Questo bioreporter è stato applicato per la valutazione della presenza e la tossicità di diossina e di composti diossino-simili in campioni di suolo provenienti dalla seconda fase del progetto Soil Mapping. Le analisi sono state condotte sia sul contenuto totale di inquinanti che sulla frazione biodisponibile stimata con resine idrofobiche. I risultati hanno mostrato una eterogeneità di risposte tra i siti oggetto di indagine; è stato inoltre rilevato come la frazione biodisponibile in molti casi non ha indotto alcun segnale nel biosensore: ciò indica che in molti casi i contaminanti non sono di fatto biodisponibili, con importanti conseguenze in termini di valutazione del rischio e di possibili strategie di bioremediation.

1. Introduzione

L'induzione dell'espressione genica relativa ad enzimi in grado di metabolizzare composti xenobiotici è ritenuta una risposta adattativa comune a molti organismi viventi. In particolare, nei vertebrati il recettore Aril-idrocarbonico (AhR-Receptor o AhR) è uno degli innumerevoli recettori intracellulari in grado di stimolare la trascrizione di geni in seguito all'ingresso di xenobiotici all'interno delle cellule [1]. Diversi studi hanno mostrato una buona correlazione tra la capacità degli idrocarburi aromatici policlorurati di legarsi al recettore aril-idrocarbonico e la capacità di indurre effetti tossici (involuzione del timo, cheratinizzazione dell'epidermide); in questo modo si è dimostrato il ruolo del recettore come mediatore della tossicità di questi composti [2]. Il primo passo nel metabolismo dei composti in grado di attivare il recettore aril-idrocarbonico consiste nell'induzione di sistemi enzimatici epatici, che si esplica generalmente trasformando questi composti in molecole idrosolubili, che possono poi essere eliminate dall'organismo.

Poiché si ipotizza che molti degli effetti tossici siano mediati dal recettore aril-idrocarbonico e dal suo legame con il sito di riconoscimento DRE, la conseguente trascrizione genica che porta alla produzione di mRNA per il citocromo P4501A1 e all'induzione enzimatica (monossigenasi e idrolasi) è stata presa in considerazione come meccanismo utilizzabile in un test biologico con il quale è possibile valutare l'effetto tossicologico di idrocarburi aromatici policlorurati e di complesse miscele che li contengono, dimostrando una buona correlazione tra la tossicità dei

composti e l'attività enzimatica [3].

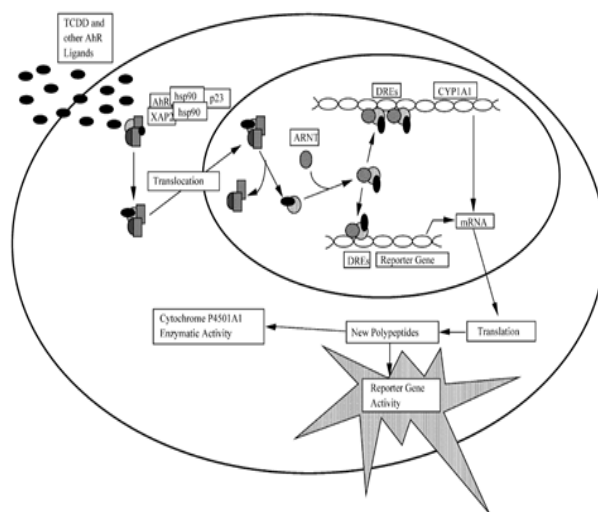


Figura 1. Meccanismo d'azione dei composti diossino-simili.

Il DR-CALUX (Dioxin-Responsive Chemically Activated Luciferase eXpression) è un biosensore che permette di determinare la presenza e la tossicità di composti con attività diossino-simile, anche presenti in miscele, in diverse matrici ambientali ed alimentari.

È stato sviluppato a partire da cellule di carcinoma epatico di topo (linea cellulare H1L6.1) o di ratto (linea H4IIE), nelle quali è stato inserito il gene responsabile della produzione di luciferasi sottoposto al controllo del gene DRE (Dioxin-responsive element). Il DR-CALUX si basa su un sistema “meccanismo-specifico” e non “composto-specifico”: il contributo di ciascun congenere è espresso in termini di un equivalente quantità di 2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-p diossina (2,3,7,8-TCDD) che risulta in un uguale livello di attivazione del recettore Aril-idrocarbonico. Per queste caratteristiche, DR-CALUX è in grado di misurare l'effetto sinergico o antagonistico dei composti diossino-simili, che coesistono in complesse miscele di congeneri e che possono modulare il loro effetto tossico [4]. Con il DR-Calux è possibile determinare il TEQ (Toxic Equivalency o Equivalenza Tossica), che viene calcolato come somma dei livelli di ogni sostanza ponderati per i relativi TEF (Toxic Equivalency Factor):

$$TEQ = \sum [(PCDD_i \times TEF_i) + (PCDF_i \times TEF_i) + (PCB_i \times TEF_i)]$$
 (dove i indica la sostanza i-esima).

Il valore di TEQ esprime la tossicità come se tutta la miscela fosse composta da 2,3,7,8-TCDD.

La formula si applica a PCDD, PCDF, PCB coplanari e PCB orto-sostituiti (non agli altri PCB), mentre non viene applicato per alcune sostanze anch'esse capaci di interagire con il recettore Aril-idrocarbonico, come gli idrocarburi policiclici aromatici (PAHs), le dibenzo-p-diossine bromurate (PBDDs) ed i dibenzofurani polibromurati (PBDFs) [5].

Si è pertanto proposto di nominare BEQ il valore di TEQ ottenibile attraverso biosensori cellulari come il DR-Calux [6].

1.1 Disegno sperimentale e obiettivi

Il DR-Calux è solitamente applicato a campioni che hanno subito un'estrazione esaustiva dei contaminanti. Tuttavia, tale approccio non permette di considerare l'importanza della biodisponibilità ovvero di quel processo tramite il quale una frazione di contaminanti non interagisce con gli organismi viventi in quanto strettamente legata alle particelle del suolo [7]. La frazione biodisponibile è stata definita come la frazione di una sostanza chimica presente nel suolo che può essere resa disponibile per gli organismi viventi [8], o come il grado in cui un composto è libero di muoversi verso un organismo ed al suo interno [9]. Tale frazione è di estrema importanza: da un lato infatti rappresenta la frazione in grado di porre un rischio per l'uomo e gli ecosistemi in quanto potenzialmente assorbibile da piante, batteri ed altri recettori ecologici; dall'altro è la frazione che può essere attaccata da parte di microorganismi degradatori, ed influenza quindi il possibile successo di interventi di “bioremediation”. Nel caso delle diossine e dei furani, alcune stime riportano che circa il 30% delle concentrazioni di questi composti presenti in un suolo siano disponibili

per organismi viventi [10]. Oltre ad un'estrazione esaustiva dei contaminanti oggetto di studio, è stata anche eseguita un'estrazione volta a quantificare la frazione biodisponibile. L'estrazione esaustiva è stata eseguita ricorrendo al metodo “Soxhlet”, mentre la frazione biodisponibile è stata estratta utilizzando il polimero Tenax (2,6-diphenyl-p-phenylene oxide, la cui capacità di trattenere molecole altamente idrofobiche (PCBs PCDDs e PCDDF, PBDEs) che passano in soluzione acquosa è stata dimostrata da numerosi studi riguardanti le cinetiche di desorbimento [11] [12] [13] [14]. Il tempo di estrazione necessario per la frazione biodisponibile è inferiore a quello necessario per la frazione totale. La fase che si rende più rapidamente disponibile per gli organismi viventi può essere determinata entro sei ore [15] [16]. I valori di BEQ ottenuti dai campioni sottoposti alle differenti estrazioni sono stati calcolati e confrontati.

2. Materiali e Metodi

2.1 I campioni di suolo

I campioni di suolo sui quali è stata svolta l'indagine sono stati raccolti nell'ambito della seconda fase del Progetto “Soil Mapping”. Il numero totale è 67.

Per una descrizione dettagliata della locazione ed il prelievo nei singoli siti di campionamento si rimanda al paragrafo 1 del Capitolo VI: “Caratterizzazione chimico-fisica dei campioni di suolo”.

2.2 Trattamento dei campioni di suolo

Il materiale, stoccato in vasi di vetro da 250 mL ad una temperatura inferiore a -20°C , è stato scongelato a temperatura ambiente per essere poi setacciato (mesh 2 mm, acciaio). Un'aliquota di 10 grammi è stata pesata e destinata al calcolo del peso secco (105°C , 16 ore). Due aliquote di terreno sono state successivamente pesate e destinate alle diverse estrazioni.

2.3. Estrazione esaustiva

Dieci grammi di terreno (peso umido) sono stati posti in un ditale in cellulosa (Whatman), insieme a 20 grammi di solfato anidro (Sigma Aldrich). L'estrazione è avvenuta con un'apparecchiatura Soxhlet (Büchi Extraction System B811), in modalità “Hot”, utilizzando 250 mL di una miscela acetone:esano 1:1 [17] [18], con un tempo di estrazione di almeno 8 ore. Al termine dell'estrazione, il solvente è stato ridotto ad un volume di circa 1,5 mL utilizzando un evaporatore rotante e flusso d'azoto, per essere poi trasferito in un vial in vetro. Sono stati anche ottenuti e quindi analizzati alcuni bianchi analitici.

2.4. Estrazione della fase biodisponibile

L'estrazione è avvenuta utilizzando il polimero Tenax® (2,6-diphenyl-p-phenylene oxide, 60-80 mesh, ~35 m²/g, Sigma Aldrich). Prima dell'utilizzo, il polimero è stato "condizionato" con acqua Milli-Q, esano, acetone (10 mL per grammo, 3 volte) e posto a 75° C per 12 ore [19].

Aliquote di 1,5 g di polimero e di campione di suolo (peso umido) sono state poste in un imbuto separatore in vetro, nel quale sono stati aggiunti 70 mL di acqua Milli-Q e posto su agitatore per 6 ore [20] [21].

Trascorso il tempo di agitazione, la soluzione di terreno è stata separata dal polimero, che è stato lavato con acqua Milli-Q per rimuovere ogni residuo di terreno. Sono stati aggiunti 30 mL di esano e l'imbuto è stato posto su agitatore per un'ora [20] [21]. Trascorso il tempo di agitazione, il solvente è stato ridotto ad un volume di circa 1,5 mL utilizzando un evaporatore rotante e flusso d'azoto, per essere poi trasferito in un vial in vetro. Sono stati anche ottenuti alcuni bianchi analitici.



Figura 2. Estrazione della fase biodisponibile.

2.5. Purificazione degli estratti

Al fine di separare il contributo di composti meno stabili di PCB e composti diossino-simili da quelli considerati nel calcolo del BEQ/TEQ e per evitare falsi positivi, viene applicato un trattamento di purificazione dei campioni ("clean-up") su colonna di silice addizionata di acido solforico. Diversi studi hanno mostrato che in questo modo è possibile rimuovere i composti meno stabili ed ottenere un recupero analitico soddisfacente per diossine e PCB con attività diossino-simile [22] [23].

Gli estratti di terreno, sia della frazione totale che di quella biodisponibile, insieme ai relativi bianchi analitici, sono stati posti alla sommità di una colonna in vetro contenente solfato di sodio anidro e gel di silice a tre diverse concentrazioni di acido solforico

(33%, 20%, 10%), per essere poi eluiti con 50 mL di una miscela di esano : dietil-etero (97:3) [21] [22]. Il solvente in uscita è poi passato su una colonna aggiuntiva contenente polvere di rame attivata per rimuovere composti solforati [21] prima di essere ridotto in volume (500 µL) con flusso d'azoto e posto in un vial con fondo conico per raggiungere un'evaporazione quasi totale del solvente. Sono poi stati aggiunti 20 µL di DMSO (Dimetil-solfossido, Sigma Aldrich), per rendere possibile una diluizione degli estratti prima dell'esposizione alle colture cellulari.

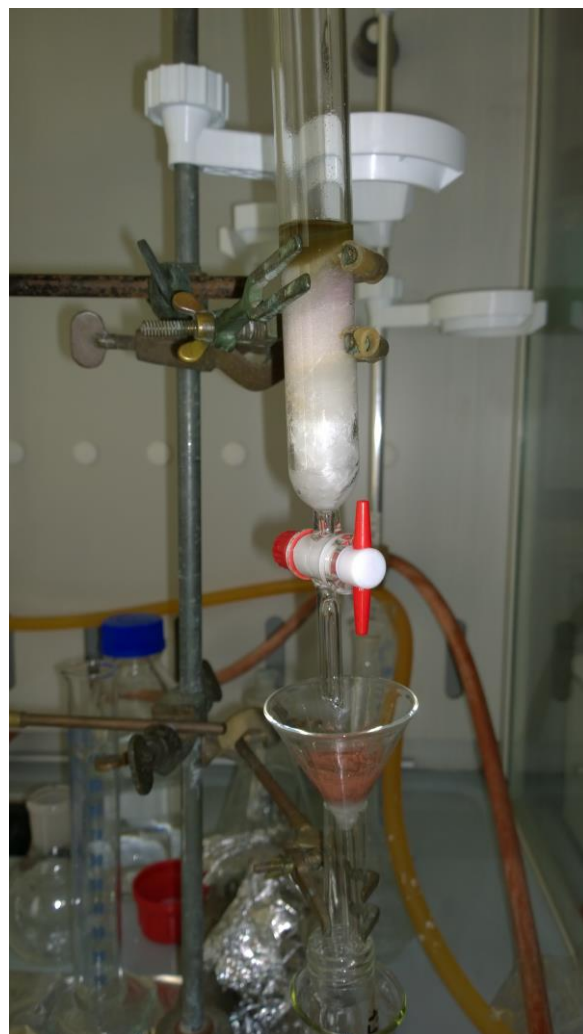


Figura 3. Purificazione degli estratti.

2.6. Colture cellulari

Le colture cellulari sono state ottenute seguendo un protocollo in uso presso il dipartimento di Tossicologia dell'Università di Wageningen (Olanda), applicato anche nelle relative pubblicazioni scientifiche [21] [22].

Le cellule di DR-Calux (H4IIE hepatoma rat cells) sono cresciute in fiasche sterili (75 cm², Sigma

Aldrich) contenenti un medium di coltura (α -MEM, Sigma Aldrich) in incubatore a 37°C e al 5% di anidride carbonica fino a raggiungere un valore di confluenza (percentuale di superficie che il monostrato di cellule occupa al momento dell'osservazione al microscopio invertito) considerato ottimale (80%). Le cellule, adese alla superficie della fiasca, sono state successivamente sottoposte ad una soluzione di tripsina (10X, Sigma Aldrich) in PBS (Phosphate-buffered saline, sigma Aldrich) per ottenerne il distacco ed essere poi risospese in un opportuno volume di medium di coltura. La sospensione di cellule è stata utilizzata per riempire con 100 μ L ciascuno dei 60 dei 96 pozzetti di una piastra sterile (Tissue-culture treated, Sigma Aldrich). I restanti pozzetti esterni sono stati riempiti con 200 μ L di HBSS (Hank basic salt solution, Sigma Aldrich).

La piastra è stata posta in incubatore per 24 ore per raggiungere un valore ottimale di confluenza nei pozzetti prima dell'esposizione agli estratti di suolo e a standard di 2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-p diossina (2,3,7,8-TCDD) in dimetil-solfossido.

Sono stati trasferiti 500 μ L di mezzo nei pozzetti di piastre da ventiquattro. Sono stati poi aggiunti 4 μ L di standards di diossina a diversa concentrazione, di campioni e di bianchi di controllo. Ad aggiunta avvenuta, le piastre sono state sottoposte ad agitazione. In questo modo si è operata una prima diluizione (1:125). Aliquote di 100 μ L di medium prelevati da ciascuna delle ventiquattro piastre sono stati trasferiti in tre pozzetti della piastra sterile da novantasei in modo da ottenere triplicati.

Si è quindi operata una seconda diluizione (1:2), con la quale gli standard di 2,3,7,8-TCDD ed i campioni a contatto con le cellule si trovano in rapporto 1:250 rispetto alla concentrazione iniziale.

La concentrazione degli standard utilizzati è riportata nella seguente tabella, insieme alla concentrazione effettiva nei rispettivi pozzetti.

Standards	>	96-well plate
25 pM	>	0.1 pM
75 pM	>	0.3 pM
0.25 nM	>	1.0 pM
0.75 nM	>	3.0 pM
1.25 nM	>	5.0 pM
2.5 nM	>	10.0 pM
7.5 nM	>	30.0 pM
25 nM	>	100.0 pM
75 nM	>	300.0 pM

Figura 4. Concentrazione degli standard di 2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-p diossina.

La piastra è stata ulteriormente incubata (24 ore a 37°C, 5% CO₂) affinché la luciferasi venisse prodotta

sotto il controllo del gene DRE (Dioxin Responsive Element) dopo induzione del recettore aril-idrocarbonico da parte degli standard e dei composti capaci di creare tale induzione, eventualmente contenuti negli estratti di campioni.

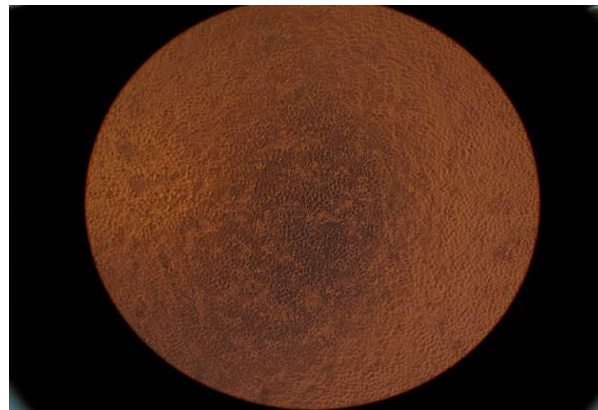


Figura 5. Cellule al termine dell'esposizione.

Trascorso il tempo necessario all'incubazione, le cellule sono state sottoposte a lisi, con lo scopo di rendere disponibile la luciferasi ai substrati necessari per la reazione luminosa. Dopo la rimozione del medium di coltura in ciascun pozzetto, sono state addizionate aliquote di 30 μ L di "Lysis buffer", prodotto a partire da reagenti come descritto da Besselink et al. [24]. La lisi è stata osservata al microscopio invertito.



Figura 6. Cellule lisate.

A lisi avvenuta si è proceduto con la misurazione dell'attività della luciferasi attraverso l'utilizzo di un luminometro (Synergy II, Biotek), ricorrendo ad un protocollo opportunamente creato per il DR-Calux. Utilizzando i dispenser del luminometro, 100 μ L di "Glow mix buffer" contenente luciferasi e prodotto secondo [Besselink et al., 2004][24] sono stati addizionati a ciascun pozzetto contenente le cellule di DR-Calux lisate, al fine di ottenere la seguente reazione



321

alcuni campioni la scala è stata alzata rispettivamente a 50 e 300 pmol TEQ/g s.s.

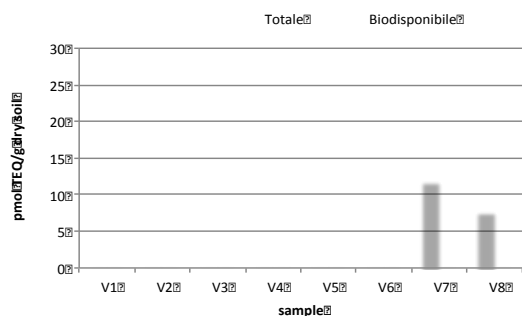


Figura 8. Risposta del biosensore DR-CALUX alla frazione totale e biodisponibile nei campioni del sito di Viscolube di Pieve Fissiraga (BS).

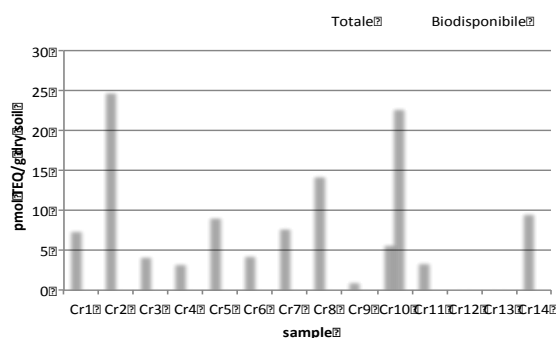


Figura 9. Risposta del biosensore DR-CALUX alla frazione totale e biodisponibile nei campioni contaminati da Cromo esavalente.

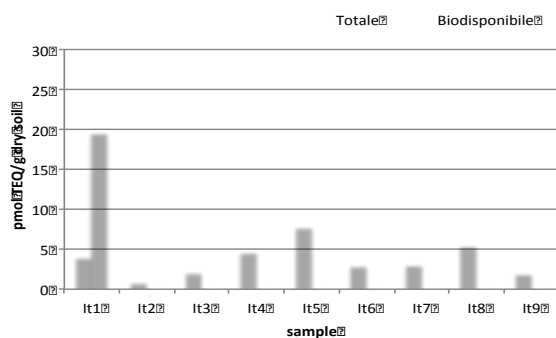


Figura 10. Risposta del biosensore DR-CALUX alla frazione totale e biodisponibile nei campioni del cementificio di Broni.

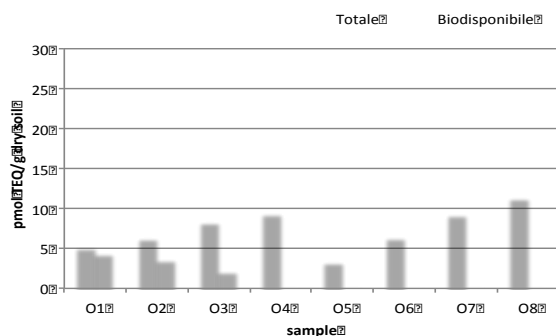


Figura 11. Risposta del biosensore DR-CALUX alla frazione totale e biodisponibile nei campioni del sito di Origgio, adiacenti all'autostrada Milano-Varese.

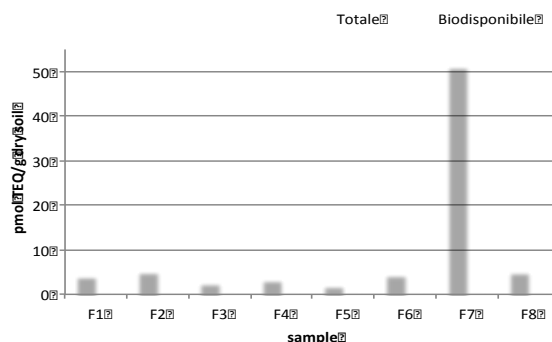


Figura 12. Risposta del biosensore DR-CALUX alla frazione totale e biodisponibile nei campioni della fonderia di Darfo Boario Terme (BS).

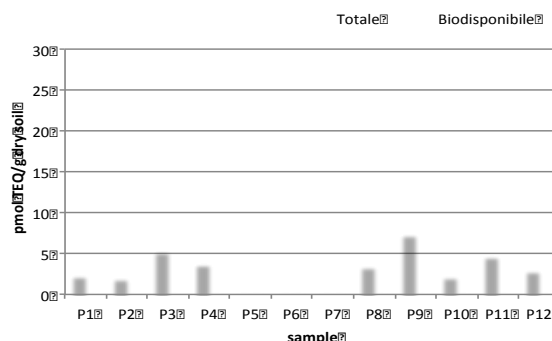


Figura 13. Risposta del biosensore DR-CALUX alla frazione totale e biodisponibile nei campioni adiacenti al termovalorizzatore di Parona (PV).

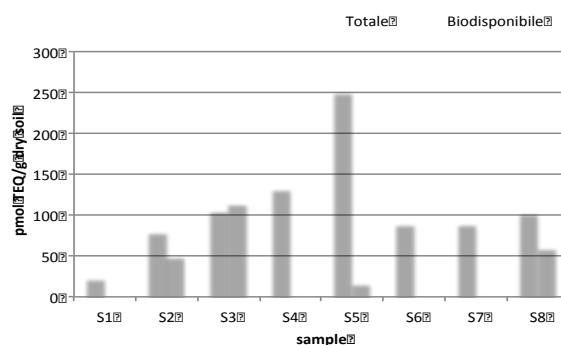


Figura 14. Risposta del biosensore DR-CALUX alla frazione totale e biodisponibile nei campioni del sito di interesse nazionale (SIN) di Brescia.

I risultati ottenuti mostrano diverse differenze tra siti, e tra campioni all'interno dello stesso sito. L'induzione del DR-CALUX dai contenuti totali è risultata, come previsto, quasi sempre più alta rispetto ai biodisponibili nella maggior parte dei casi. Fanno eccezione un campione dei siti contaminati da Cromo (Figura 9), uno del cementificio di Broni (Figura 10) ed uno del SIN di Brescia (Figura 14), dove le frazioni biodisponibili sono risultate maggiori. Tale risultato necessiterebbe di un ulteriore approfondimento, ma è

già possibile fare delle ipotesi per spiegarlo. Le analisi sono state condotte su singoli replicati per campione, in quanto avevano un primo scopo di indagine, in più il metodo per il contenuto totale ha utilizzato 10 g di suolo, quello per il biodisponibile 1,5 g. Questi due fattori, uniti alla variabilità di contaminazione da xenobiotici organici nel suolo, spesso caratterizzata da “hot-spots”, micro-aggregati che presentano una concentrazione molto alta, può aver portato a questa discordanza, che riguarda comunque due soli campioni su 67 totali analizzati.

Un fenomeno osservato in almeno un campione per sito è l'assenza di segnale per la frazione biodisponibile quando il totale ha dato segnale. Tale fenomeno è spiegabile considerato il processo di aging, ovvero il progressivo intrappolamento dei contaminanti da parte del suolo, soprattutto nella frazione organica. Tale fenomeno è ben descritto in letteratura [7,8], ed è molto importante ai fini della valutazione del rischio e della bonifica di questi siti: da un lato infatti il rischio è da ritenersi molto basso in quanto molto bassa (se non addirittura nulla) è l'esposizione da noi stimata; dall'altro deve essere da guida in merito alla scelta di opportune tecniche per l'eventuale bonifica di questi siti. Al di là della difficile degradazione biologica delle diossine, è presumibile alla luce di questi risultati che interventi di “bioremediation” possano aver successo se non almeno co-adiuvati da opportune tecniche finalizzate al rendere maggiormente biodisponibili gli inquinanti (e.g., uso di surfattanti). Il sito con minore contaminazione è risultato essere quello della Viscolube di Pieve (Figura 8), dove solo 2 su 8 campioni hanno indotto un segnale sul DR-CALUX da parte degli estratti totali. Anche il sito della fonderia di Darfo Boario (Figura 12) e del termovalorizzatore di Parona (Figura 13) hanno mostrato assenza di segnali da parte delle frazioni biodisponibili, presumibilmente in virtù di una contaminazione avvenuta ormai anni fa

e che ha permesso negli anni la riduzione della biodisponibilità. Sono infine da segnalare gli alti livelli registrati nei suoli del SIN di Brescia (Figura 14), confermati anche dalle analisi chimiche presentate in un'altra relazione di questo progetto.

4. Conclusioni

Le attività da noi svolte all'interno del progetto hanno riguardato un aspetto specifico ma molto importante nella valutazione di suoli contaminati: lo studio della biodisponibilità unito all'applicazione di biosensori per la valutazione degli effetti tossicologici delle sostanze chimiche (i.e., l'induzione del recettore aril-idrocarbonico da parte delle diossine e composti con azione diossino-simile). A tal fine abbiamo applicato tecniche consolidate per la stima della biodisponibilità (uso di resine estrattive idrofobiche) e per la valutazione dell'effetto tossico (biosensore DR-CALUX). In parallelo sono state condotte analisi sul contenuto totale, che presentano un certo grado di correlazione con i dati chimici prodotti da altre unità del progetto: va comunque ricordato che l'approccio biologico qui presentato non è assolutamente finalizzato a sostituire l'approccio chimico, ma bensì a complementare con informazioni di carattere biologico la valutazione interdisciplinare dello stato di salute dei suoli Lombardi.

I dati dimostrano, come in moltissimi casi, che la frazione biodisponibile sia bassa se non al di sotto del limite di quantificazione. Questo risultato non è ottenibile con altri approcci ed ha importanti conseguenze sulla valutazione del rischio e sulla bonifica di questi siti: è nostro auspicio che questo nostro lavoro porti la Regione Lombardia e altri Enti interessati a considerare il concetto di biodisponibilità negli studi di gestione e bonifica di siti contaminati.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Denison M.S., Nagy S.R. Activation of the aryl hydrocarbon receptor by structurally diverse exogenous and endogenous chemicals. *Annu Rev Pharmacol Toxicol.* 2003;43:309–334.
- [2] Safe S. (1990). Polychlorinated biphenyls (PCBs), dibenzo-p-dioxins (PCDDs), dibenzofurans (PCDFs) and related compounds: Environmental and mechanistic considerations which support the development of toxic equivalency factors (TEFs). *CRC Crit. Rev. Toxicol* 21, 51-88.
- [3] Tillitt D. E., Giesy, J. P., and Ankley, G. T. (1989). Characterization of the H4IIE rat hepatoma cell bioassay as a tool for assessing toxic potency of planar halogenated hydrocarbons in environmental samples. *Environ.Sci. Technol* 25, 87-92.
- [4] Joung, Y.H. Chung and Y.Y. Sheen, DRE-CALUX bioassay in comparison with HRGC/MS for measurement of toxic equivalence in environmental samples, *Sci. Total. Environ.* 372 (2007), pp. 657–667.
- [5] Van Den Berg M., L.S. Birnbaum, M. Denison, M. De Vito, W. Farland, M. Feeley, H. Fiedler, H. Hakansson, A. Hanberg, L. Haws, M. Rose, S. Safe, D. Schrenk, C. Tohyama, A. Tritscher, J. Tuomisto, M. Tysklind, N. Walker and R.E. Peterson, The 2005 World Health Organization re-evaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds, *Tox. Sci.* 93 (2006), pp. 223–241.
- [6] Hädrich, J., Eppe, G., Goeyens, L., Hoogenboom, L. A. P., Malagocki, P., Scippo, M.-L., et al. (2010). New cut-off values for application in bionalytical screening: decision over sample compliance with legal limits set by the European Union for PCDD/Fs and dioxin-like PCBs. *Organohalogen Compound*, 72.
- [7] Alexander, Martin. "Aging, bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants." *Environmental science & technology* 34.20 (2000): 4259-4265.
- [8] Semple KT, Morriss AWJ, Paton GI (2003) Bioavailability of hydrophobic organic contaminants in soils: fundamental concepts and techniques for analysis. *European Journal of Soil Science* 54, 809-818.
- [9] Reid B.J., Jones, K.C. & Semple, K.T. 2000. Bioavailability of persistent organic pollutants in soils and sediments – a perspective on mechanisms, consequences and assessment. *Environmental Pollution*, 108, 103–112.
- [10] Paustenbach D.J., K. Fehling, P. Scott, M. Harris and B.D. Kerger. 2006. Identifying soil cleanup criteria for dioxins in urban residential soils: How have 20 years of research and risk assessment experience affected the analysis? *J Toxicol Environ Health. B Crit Rev.* 9(2):87-145.
- [11] Cornelissen, G., van Noort, P. C. M. and Govers, H. A. J. (1997), Desorption kinetics of chlorobenzenes, polycyclic aromatic hydrocarbons, and polychlorinated biphenyls: Sediment extraction with Tenax® and effects of contact time and solute hydrophobicity. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16: 1351–1357.
- [12] Trimble T.A., You J., Lydy M.J., (2008). Bioavailability of PCBs from field collected sediments: Application of Tenax extraction and matrix-SPME techniques. *Chemosphere* 71 (17), 337-344.
- [13] Sormunen, A.J., Koistinen, J., Leppänen, M.T. and Kukkonen, J.V.K. 2008: Desorption of sediment-associated polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, diphenylethers and hydroxydiphenyl ethers from contaminated sediment. *Chemosphere* 72: 1-7.
- [14] de la Cal, A., Eljarrat, E., Grotenhuis, T. and Barcelo, D. (2008), Tenax® extraction as a tool to evaluate the availability of polybrominated diphenyl ethers, ddt, and ddt metabolites in sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27: 1250–1256.
- [15] Ten Hulscher D., Postma J., Den Besten P.J., Stroomberg G.J., Belfroid A., Wegener J.W., Faber J.H., Van der Pol J.C., Hendriks A.J., Van Noort P.C.M., (2003). Tenax extraction mimics benthic and terrestrial bioavailability of organic compounds. *Environmental Toxicology and Chemistry* 22 (10), 2258-2265.
- [16] Van Noort P.C.M., (2009b). Estimation of amorphous organic carbon/water partition coefficients, subcooled aqueous solubilities and n-octanol/water distribution coefficients of alkylbenzenes and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Chemosphere* 74 (8), 1018-1023.
- [17] Covaci, A., P. Manirakiza, and P. Schepens. "Persistent organochlorine pollutants in soils from Belgium, Italy, Greece, and Romania." *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 68.1 (2002): 97-103.
- [18] Kiguchi, Osamu, Takashi Kobayashi, and Katsumi Saitoh. "Effects of Extraction Solvents on the Extraction Efficiencies of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans, and Polychlorinated Biphenyls in Reference Materials." (2006).
- [19] Van Noort P.C.M., Cornelissen G., Ten Hulscher T.E.M., Vrind B.A., Riegerink H., Belfroid A., (2003). Slow and very slow desorption of organic compounds from sediment: Influence of sorbate planarity. *Water research* 37 (10), 2317-2322.
- [20] Cornelissen G., Riegerink H., Ten Hulscher D.E.M., Vrind B.A., Van Noort P.C.M., (2001). A simple Tenax extraction method to determine the availability of sediment-sorbed organic compounds. *Environmental Toxicology and Chemistry* 20 (4), 706-711.
- [21] Puglisi, Edoardo, et al. "Extraction and bioanalysis of the ecotoxicologically relevant fraction of contaminants in sediments." *Environmental Toxicology and Chemistry* 26.10 (2007): 2122-2128.
- [22] Murk, A. J., et al. "Chemical-Activated Luciferase Gene Expression (CALUX): A Novel in Vitro Bioassay for Ah Receptor Active Compounds in Sediments and Pore Water." *Fundamental and applied toxicology* 33.1 (1996): 149-160.
- [23] Stronkhorst, Joost, Pim Leonards, and Albertinka J. Murk. "Using the dioxin receptor–calux in vitro bioassay to screen marine harbor sediments for compounds with a dioxin like mode of action." *Environmental Toxicology and Chemistry* 21.12 (2002): 2552-2561.
- [24] Besselink, Harrie T., et al. "Intra and interlaboratory calibration of the DR CALUX bioassay for the analysis of dioxins and dioxin-like chemicals in sediments." *Environmental toxicology and chemistry* 23.12 (2004): 2781-2789.

Capitolo XIV: Biomassa microbica e attività enzimatica dei suoli

Nell'ambito del Progetto Soil sono state determinate la quantità di biomassa microbica e nove attività enzimatiche in campioni ad alta pressione antropica della regione Lombardia. Nei sette siti investigati, per un totale di 67 campioni, la quantità di microrganismi (dsDNA) e l'attività biochimica (enzimatica) non è risultata influenzata dal grado di contaminazione con inquinanti inorganici, mostrando quindi una buona funzionalità del punto di vista microbiologico e biochimico.

1. *Introduzione*

In questa parte dell'indagine sono stati considerati suoli superficiali in sette aree della Regione Lombardia soggette a differenti attività antropiche.

2. *Materiali e metodi*

Si rimanda alla descrizione del Capitolo 2: "Materiali e metodi" del Capitolo V: "Biomassa microbica e attività enzimatica del suolo della Regione Lombardia".

3. *Risultati e discussione*

I dati di contenuto di dsDNA e attività enzimatica sono riportati in Tabella I dell'Appendice.

I diversi siti hanno un contenuto medio molto diverso tra di loro. I campioni di Broni e Parona hanno un contenuto di dsDNA decisamente inferiore rispetto a quelli provenienti da altri siti e un rapporto dsDNA/Corganico ancora più basso. È ragionevole supporre che in questi siti vi sia una qualità di sostanza organica, o una particolare composizione mineralogica, o proprietà fisiche e chimiche in generale che determina valori bassi dei parametri biologici misurati. Altro motivo potrebbe essere il basso apporto di materiale organico fresco al suolo. Anche le attività enzimatiche sono risultate molto basse; è da osservare in particolare il valore di ester, che è considerato un indicatore di attività globale della biomassa microbica in quanto l'attività esterasica è determinata da diversi tipi di enzimi: esterasi vere e proprie, proteasi ed altri ancora. Nei campioni Broni, le sole attività alkP e leu hanno dato valori di un certo rilievo. Al contrario, nel sito di Parona, dove il pH del terreno è acido, si ha una significativa attività di acP e di altri enzimi con

optimum a valori di pH inferiori alla neutralità (acP, chit, β -gluc).

Considerando la variabilità di dsDNA ed enzimi dei diversi siti, essa è risultata maggiore nei campioni Treviglio e Parona; quindi i campioni sono più eterogenei proprio in questi siti.

L'analisi di correlazione tra contenuto di dsDNA, enzimi e contenuto di inquinanti inorganici ha prodotto due risultati praticamente sovrapponibili in ognuno dei sette siti presi in considerazione dalla seconda fase del progetto:

1- dsDNA e attività enzimatiche sono sempre molto correlate tra di loro;

2- Non ci sono correlazioni significative tra dsDNA e attività enzimatiche da un lato e contenuto di elementi inquinanti.

A questo proposito è di particolare interesse il caso del SIN di Brescia, i cui valori di dsDNA e delle attività enzimatiche si collocano tra i valori medio-alti tra quelli presenti nella presente indagine, mentre la variabilità è risultata essere piuttosto bassa. Sorprendentemente anche per questo sito, come per gli altri, la correlazione con gli inquinanti inorganici non ha mostrato risultati significativi. Questo significa che il notevole contenuto totale di alcuni inquinanti, come ad esempio il mercurio, anche quando presente in quantità piuttosto rilevanti, non ha provocato riduzioni significative dei parametri biologici. Questo risultato può essere spiegato in diversi modi. Primo, la forma in cui sono presenti gli elementi tossici è relativamente poco disponibile per i microrganismi; molto probabilmente il pH piuttosto elevato gioca un ruolo determinante. Secondo, il livello elevato di sostanza organica mitiga gli effetti tossici degli inquinanti. Terzo, vi è stata una selezione dei microrganismi del terreno. Ovviamente una causa non esclude l'altra.

4. *Conclusioni*

L'indagine ha consentito di tracciare un quadro

riguardo i microrganismi del suolo e la loro attività biochimica in contesti di maggiore in funzione del carico di elementi inquinanti. Dai dati ottenuti emerge che il funzionamento del comparto suolo dal punto di vista microbiologico-biochimico non è risultato significativamente danneggiato dalla presenza di elementi inquinanti nei vari siti esaminati.

APPENDICE

Tabella 1. dsDNA e attività enzimatica nei terreni della fase 2 del Progetto Soil.

- dsDNA: DNA a doppia elica. Espresso in microgrammi di DNA a doppia elica per g di suolo secco.
- aryS: arylsulfatasi; chit: chitinasi; α -gluc: alfa-glucosidasi; β -gluc: beta-glucosidasi; acP: fosfomonoesterasi acida; bisP: fosfodiesterasi; piroP: pirofosfato-fosfodiesterasi; alkP: fosfomonoesterasi alcalina; leu: leucina-aminopeptidasi; ester: acetato-esterasi.
- Attività enzimatiche: espresse in nanomoli di 4-metilumbelliferone (leu: 7-amino-4metil cumarina) per g di suolo secco e per ora.

Località	camp. #	mg dsDNA												
		dsDNA	Corg	g ⁻¹ Corg	aryS	chit	α -gluc	β -gluc	acP	bis	piro	alkP	leu	ester
Visco-lube	V1	34	1,40	2,4	4	14	3	16	83	20	4	84	33	3171
	V 2	61	1,98	3,1	9	26	10	28	113	61	15	195	46	5007
	V 3	27	1,26	2,2	3	14	3	18	61	24	4	74	36	2447
	V 4	37	1,32	2,8	7	16	7	20	91	31	8	106	98	3699
	V 5	37	1,54	2,4	2	15	3	16	51	26	4	103	35	1843
	V 6	22	1,14	1,9	2	19	3	13	51	11	1	41	33	1755
	V 7	36	1,74	2,1	1	23	3	22	39	41	6	160	52	1831
	V 8	51	1,83	2,8	8	26	8	22	119	54	17	170	48	4919
	media	38	1,53	2,5	5	19	5	19	76	33	7	117	48	3084
	dev st	12	0,28	0,4	3	5	3	4	28	16	5	50	20	1262
	CV %	30	18	15	63	25	53	23	37	49	73	43	43	41
Auto-strada	O1	30	1,47	2,1	1	10	6	24	45	1	0	6	14	1849
	O 2	37	1,47	2,5	2	27	7	29	66	5	1	30	35	3793
	O 3	29	1,25	2,4	2	8	6	20	44	4	1	21	24	2788
	O 4	32	1,48	2,2	2	8	6	27	55	5	1	28	29	3656
	O 5	23	1,14	2,1	1	8	4	18	40	1	0	7	14	2630
	O 6	24	1,58	1,5	1	11	7	25	38	1	0	8	16	2453
	O 7	35	1,65	2,1	3	16	10	57	54	5	1	29	40	3676
	O 8	31	1,48	2,1	3	10	9	33	45	4	1	23	29	3518
	media	30	1,44	2,1	2	12	7	29	48	3	1	19	25	3045
	dev st	5	0,16	0,3	1	6	2	11	9	2	0	10	9	668
	CV %	15	11	13	38	50	24	39	18	49	56	52	36	22
Broni	IT1	35	1,83	1,9	0	5	1	21	8	7	1	63	15	354
	IT 2	19	1,30	1,5	0	1	0	4	2	6	1	37	12	266
	IT 3	20	1,38	1,5	0	1	0	3	0	6	1	17	9	24
	IT 4	15	1,39	1,1	0	0	0	3	0	3	0	18	4	27
	IT 5	15	0,93	1,6	0	2	0	6	2	3	0	29	12	182
	IT 6	18	1,12	1,6	0	0	0	1	0	2	0	10	6	0
	IT 7	21	1,76	1,2	0	4	0	13	2	5	1	37	26	266
	IT 8	20	1,44	1,4	0	3	0	9	4	6	1	49	15	459
	IT 9	21	1,67	1,2	0	3	0	5	8	15	2	75	17	491
	media	20	1,42	1,4	0	2	0	7	3	6	1	37	13	230
	dev st	6	0,28	0,2	0	2	0	6	3	3	1	21	6	176
	CV %	27	20	17	-	74	283	84	102	59	57	55	48	76
Brescia	S1	65	3,16	2,1	2	8	3	12	56	38	7	245	27	2252
	S 2	50	2,41	2,1	1	13	3	11	46	40	7	234	25	1735
	S 3	48	3,03	1,6	1	2	3	13	31	20	4	177	26	1507
	S 4	54	2,70	2,0	1	7	3	13	37	28	5	193	32	1606
	S 5	57	3,08	1,8	1	7	2	13	45	38	6	254	26	1697

EUR 27161 IT (2015)
Progetto Monitoraggio Ambientale
Regione Lombardia

	S 6	44	2,15	2,1	1	6	1	10	34	22	4	151	24	1157
	S 7	55	2,49	2,2	1	3	5	12	43	29	7	196	33	1589
	S 8	42	2,26	1,9	1	7	1	17	30	21	3	193	26	1349
	media	52	2,66	2,0	1	7	3	13	40	29	5	206	27	1611
	dev st	7	0,37	0,2	0	3	1	2	8	8	1	33	3	300
	CV %	14	14	9	32	44	44	16	20	27	24	16	11	19
Darfo	F1	77	1,60	4,8	18	13	9	32	122	30	9	155	90	6758
	F 2	87	2,57	3,4	4	10	10	22	92	48	18	319	51	3159
	F 3	54	1,70	3,2	5	8	4	13	85	31	12	209	51	3136
	F 4	78	2,19	3,6	13	21	10	41	147	39	11	171	100	7243
	F 5	94	2,80	3,4	27	24	15	42	167	34	10	161	109	10614
	F 6	50	1,61	3,1	2	10	3	9	45	20	7	165	26	1276
	F 7	65	1,67	3,9	4	16	6	14	88	44	15	278	48	2476
	F 8	126	3,28	3,8	22	11	13	51	201	76	19	323	119	9353
	media	79	2,18	3,6	12	14	9	28	118	40	13	223	74	5502
	dev st	23	0,60	0,5	9	5	4	15	48	16	4	68	32	3234
	CV %	29	28	14	75	38	42	53	40	39	32	31	43	59
Treviglio	CR1	24	1,16	2,0	2	9	2	11	38	17	4	69	18	1256
	CR 2	61	2,08	2,9	3	9	4	17	54	35	6	192	41	2111
	CR 3	58	1,55	3,7	4	11	2	15	69	44	8	154	29	2558
	CR 4	11	1,16	1,0	1	8	0	12	27	6	1	20	15	990
	CR 5	115	2,65	4,3	7	25	12	62	177	103	32	407	67	4621
	CR 6	37	2,61	1,4	7	8	3	21	70	29	8	91	36	3179
	CR 7	19	1,64	1,2	1	12	0	10	29	17	4	87	17	1148
	CR 8	44	2,45	1,8	3	12	2	19	62	36	8	157	46	1936
	CR 9	45	1,65	2,7	3	19	3	20	65	39	9	161	46	1945
	CR 10	33	1,81	1,8	2	13	2	13	38	21	5	112	24	1537
	CR 11	38	1,94	2,0	1	12	0	10	36	21	5	164	23	1060
	CR 12	63	1,70	3,7	7	15	4	18	127	73	20	226	32	3605
	CR 13	17	1,41	1,2	1	14	1	11	35	19	2	40	14	1247
	CR 14	22	1,14	1,9	1	5	0	9	38	11	1	34	18	985
	media	42	1,78	2,3	3	12	2	18	62	34	8	137	31	2013
	dev st	27	0,52	1,1	2	5	3	13	42	26	8	100	15	1115
	CV %	64	29	47	84	41	122	76	68	78	102	73	50	55
Parona	P1	10	1,79	0,5	1	12	0	5	15	0	0	3	7	220
	P 2	22	0,85	2,6	2	19	3	13	17	2	1	18	22	593
	P 3	15	0,80	1,9	1	8	1	9	25	8	2	70	20	958
	P 4	13	1,21	1,0	1	12	4	7	12	1	1	8	11	445
	P 5	19	1,22	1,5	2	20	3	11	21	10	2	72	22	570
	P 6	12	0,66	1,8	1	5	1	9	16	1	0	8	13	617
	P 7	17	1,00	1,7	1	10	5	14	34	2	0	13	23	1099
	P 8	11	1,31	0,9	1	9	3	3	7	1	0	6	7	182
	P 9	24	0,98	2,5	2	9	3	10	18	7	1	26	18	853
	P 10	15	0,63	2,3	2	10	0	10	26	6	1	32	21	1136
	P 11	10	0,79	1,3	1	18	4	12	14	1	0	11	15	506
	P 12	7	0,75	0,9	0	2	0	4	13	0	0	3	5	214
	media	15	1,00	1,6	1	11	2	9	18	3	1	22	15	616
	dev st	5	0,34	0,7	1	6	2	3	7	3	1	24	7	334
	CV %	36	34	43	42	50	75	39	40	96	69	109	43	54

La Valutazione finale

La valutazione dei risultati ottenuti mediante lo sviluppo di grafici radar

La multidisciplinarietà del Soil Mapping necessita di un sistema che consenta di valutare i risultati ottenuti, considerando contemporaneamente tutti gli ambiti affrontati.

Abbiamo così deciso di ricorrere allo sviluppo di grafici a radar per dare uno sguardo di insieme efficace su quanto ottenuto. Per tutti i punti di ogni area sono stati quindi creati tre grafici corrispondenti agli Elementi Potenzialmente Tossici (EPT), agli inquinanti organici ed agli indicatori biologici, determinando delle classi entro cui far ricadere i valori (da 1 a 4 o da 1 a 5. *Tabella 2*).

1. Indicatori chimici

Per gli EPT le 4 classi di valutazione sono state costruite a partire dai due limiti tabellari A e B previsti dal D.Lgs 152/06. Per esempio l'arsenico possiede limite A pari a 20 mg kg⁻¹, e limite B pari a 50 mg kg⁻¹.

I campioni con concentrazione di As inferiori al limite A apparterranno alla classe 1, mentre quelli superiori al limite B verranno assegnati alla classe 4. Il valore intermedio tra i due (35 mg kg⁻¹) segna invece il confine tra le classi 2 e 3. Lo stesso meccanismo è stato adottato per gli inquinanti organici, ai quali abbiamo però aggiunto una classe in seguito alla determinazione del valore corrispondente al 95° percentile dell'intera regione (*Tabella 1*). Le categorie dei DL PCB e dei ritardanti di fiamma bromurati non sono invece normate in Italia; si è quindi pensato di considerare i limiti imposti alle diossine per i primi, e quelli relativi PCB per i secondi, accomunandoli in questo modo ai composti a loro più simili.

La statistica descrittiva è stata fatta escludendo quei valori ritenuti outlier (metodo box-plot).

Tabella 1. Valori ottenuti per le cinque classi di composti indagati

	diossine (ng I-TEQ kg ⁻¹)	PCB (ng g ⁻¹)	DL-PCB (ng WHO ₀₅ -TEQ kg ⁻¹)	DDT (ng g ⁻¹)	BFR (ng g ⁻¹)
min	0.37	0.73	0.09	0.14	0.11
25°percentile	0.67	1.69	0.17	0.32	0.3
media	1.05	3.7	0.31	0.6	0.61
mediana	0.94	2.8	0.25	0.55	0.58
75°percentile	1.32	4.6	0.33	0.89	1.02
95°percentile	2.4	8.9	0.61	3.9	3.6
max	2.88	18.8	1.18	6.5	6.3
A*	10	60	10	10	60
B*	100	5000	100	2000	5000

(*D.lgs 152/06)

2. Indicatori biologici

POTENZIALE TOSSICO E GENOTOSSICO DEL SUOLO

In relazione alla percentuale di polimorfismo del DNA (danno al DNA) delle radici, pianta e foglie di trifoglio bianco (*Trifolium repens* L.), usato come bioindicatore, i campioni di suolo sono stati classificati in quattro categorie da non genotossico fino ad altamente genotossico (Capitolo VIII, 2.2).

INDICE DI FERTILITA' BIOLOGICA

La scala di giudizio utilizza l'Indice di Fertilità Biologica (IBF) (Capitolo XII, 2.3).

CARATTERIZZAZIONE DELLA COMUNITA' DEI PROTOZOI CILIATI

Gli indici di biodiversità utilizzati nella caratterizzazione dei protozoi ciliati sono l'indice di Shannon e quello di Equipartizione (Capitolo IX, 2.3).

CARATTERIZZAZIONE DELLA COMUNITA' DEI LOMBRICHI

Per i lombrichi abbiamo considerato gli stessi indici usati per i protozoi (Shannon e Evenness), adottandone anche i valori (Capitolo X, 5.).

Tabella 2..Parametri biologici e chimici indagati e relative classi di valutazione

SIGLA	PARAMETRO	CLASSI				
		1	2	3	4	5
g.R	genotossicità radicale	Non genotossico	Moderatamente genotossico	Genotossico	Altamente genotossico	-
g.F	genotossicità fogliare	Non genotossico	Moderatamente genotossico	Genotossico	Altamente genotossico	-
g.P	genotossicità per la pianta	Non genotossico	Moderatamente genotossico	Genotossico	Altamente genotossico	-
IBF	indice fertilità biologica	Alta	Buona	Media	Bassa- stress	-
P-H'	Indice Shannon protozoi	>3,5	2,5 – 3,5	1,5 – 2,5	0 – 1,5	-
P-J	indice evennes protozoi	0,75 - 1	0,5 – 0,75	0,25 – 0,5	0 – 0,25	-
L-H'	Indice Shannon lombrichi	>3,5	2,5 – 3,5	1,5 – 2,5	0 – 1,5	-
L-J	Indice evennes lombrichi	0,75 - 1	0,5 – 0,75	0,25 – 0,5	0 – 0,25	-
DIOX	Diossine (ng I-TEQ kg ⁻¹)	<2,4	2,4 - 10	10 - 55	55 - 100	>100
DL PCB	Bifenil policlorinati Dioxin-like ng WHO ₀₅ -TEQ kg ⁻¹)	< 0,61	0,61 - 10	10 - 55	55 - 100	>100
PCB	Bifenil policlorinati (ng g ⁻¹)	< 8,9	8,9- 60	60 - 2470	2470 - 5000	> 5000
DDT	Pesticidi (ng g ⁻¹)	< 3,5	3,5 - 10	10 - 1005	1005 - 2000	> 2000
R.F.	Ritardanti di fiamma BFR (ng g ⁻¹)	<3,6	3,6 - 60	60 - 2470	2470 - 5000	> 5000

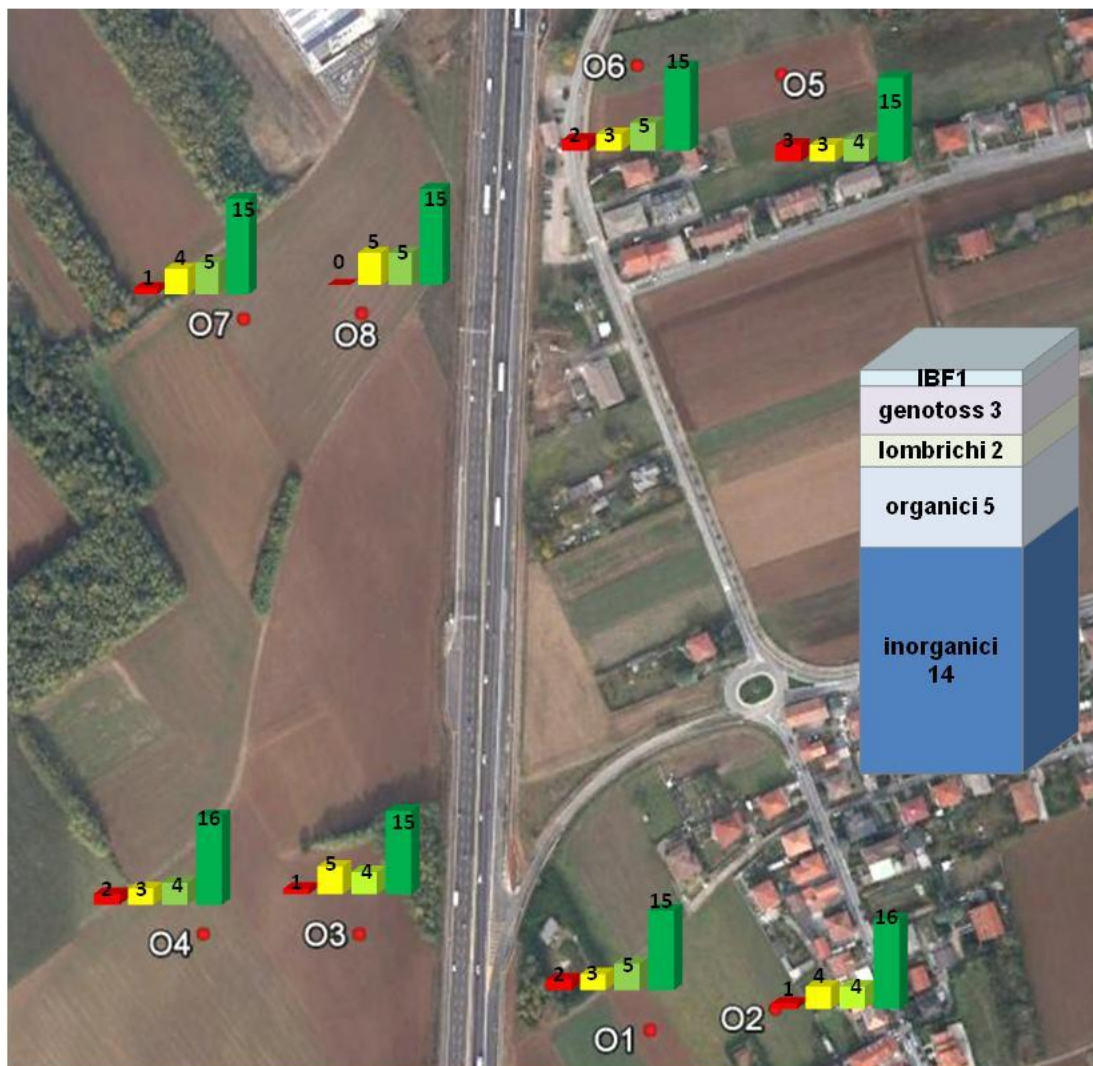
VALUTAZIONE DEI SINGOLI PUNTI DI OGNI AREA ATTRAVERSO ISTOGRAMMI

Al fine di fornire un ulteriore mezzo di valutazione e comparazione dei vari punti campionati in ogni area, abbiamo inoltre pensato alla creazione di istogrammi. Ogni grafico è basato su 4 classi di giudizio (da 1 a 4) cui corrispondono i 4 colori già usati per i radar. La prima classe (la migliore) avrà colore verde scuro, mentre la peggiore sarà rappresentata da una barra

rossa. Inoltre in ogni grafico è indicato il numero di indicatori ricadenti in una determinata classe di giudizio.

Per poter utilizzare contemporaneamente tutti i dati in questo caso anche per gli organici sono state individuate 4 classi “fondendo” la 4 e la 5. La quarta classe sarà quindi la soglia più alta e sarà caratterizzata dal colore rosso.

1. Transetto autostradale nei pressi di Origgio (VA)



In questa area sono stati prelevati otto campioni a 50 e 150 m dalla sede autostradale su entrambi i lati della stessa e a partire da due punti di origine diversi. I terreni in questione erano utilizzati a pascolo o incolti, mentre in O1 e O5 veniva coltivato frumento al momento della raccolta.

Complessivamente la tessitura si è rivelata a carattere franco, con circa il 45% di sabbia, il 42% di limo ed argilla attorno al 13%. Il pH è molto acido, con valori compresi tra 4,5 e 5,5. La CSC è medio bassa mentre la sostanza organica, valutata considerando il tenore in argilla e quello in carbonio organico, si rivela essere soddisfacente pur avendo un valore medio del 2,48%. Inoltre essa sembra avere un buon grado di umificazione, secondo quanto rivela il rapporto C/N vicino a 10. Dal punto di vista dei macroelementi l'area risulta sufficientemente dotata di fosforo e potassio e nella norma per tutti gli altri nutrienti.

Nessuna evidenza di contaminazione da ^{60}Co e ^{134}Cs . Il ^{137}Cs rientra nei valori di deposizione del 1986.

Non ci sono superamenti per gli EPT.

Per quanto riguarda gli xenobiotici organici si registra invece un livello di pesticidi clorurati (famiglia del DDT) vicino alla soglia di 10 ng g^{-1} (tabellare A verde pubblico, privato e residenziale, D. Lgs 152/06). I valori nei due pool campionati a 50 m e 150 m di distanza sono molto simili, $8,46 \text{ ng g}^{-1}$ e $8,75 \text{ ng g}^{-1}$ rispettivamente, mostrando una certa omogeneità di concentrazione nel sito.

Le diossine (PCDD/F) presentano livelli totali più alti a ovest del tratto autostradale (O3, O4, O7, O8). La maggiore biodisponibilità per tali composti si manifesta a est in O1 e O2, e a ovest in O3, tutti in corrispondenza del transetto più a sud del campionamento.

I PCB (bifenili policlorurati) in tutti i punti dell'area campionata mostrano concentrazioni nettamente inferiori al limite A previsto dal D.Lgs 152/06 (60 ng g^{-1}), così come i BFR, categoria ad essi accomunata in

quanto priva di specifico riferimento normativo per il suolo.

L'analisi col biosensore DR-CALUX evidenzia presenza di diossine e composti diossino-simili in tutti i punti campionati, comunque inferiori ai limiti di legge. Solo nei punti O1, O2, O3 le diossine sono in parte biodisponibili. Nel punto O1 la frazione biodisponibile è prossima al totale.

Dai test condotti con il biondicatore *Trifolium repens*, per quanto riguarda la valutazione della tossicità emerge un dato significativo di mortalità in O1, mentre per la genotossicità si riscontra una manifestazione moderata a livello radicale e più consistente nel germoglio, suggerendo la traslocazione alla parte epigea di inquinanti inorganici, generalmente più mobili di quelli organici. Ciò è supportato anche dalla manifestazione del cosiddetto effetto ormetico indotto dal suolo sulla crescita del bioindicatore. Come riportato sopra, gli inquinanti inorganici sono tutti al di sotto dei limiti di legge, ma possono essere resi più biodisponibili dal pH molto acido dei suoli. Non vanno trascurati inoltre fenomeni di additività fra gli inorganici e di possibili interazioni con gli organici presenti.

Per quanto riguarda l'attività microbica i terreni con bassa fertilità risultano essere O1, O4 e O6. Il carbonio microbico dell'area varia dallo 0,2% all'1% del carbonio organico totale, valori medio bassi, specialmente proprio nei punti O1, O4 ed O6. In tale fenomeno non sembra incidere la distanza dall'autostrada. Gli altri punti mostrano una fertilità media.

I valori di dsDNA sono normali per il tipo di uso del suolo, mentre quelli ottenuti per le attività enzimatiche ed usati come riferimento sembrano più elevati per quanto riguarda leucina aminopeptidasi e β glucosidasi; la fosfatasi alcalina è in linea con i valori regionali nonostante il pH acido. Tali risultati potrebbero avvalorare ulteriormente la condizione di stress dell'area. Non si riscontrano correlazioni significative fra il carico di inquinanti e l'attività enzimatica del suolo.

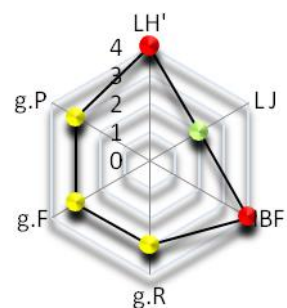
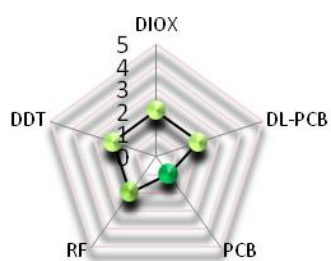
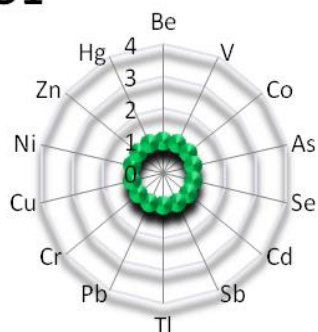
Per la valutazione della comunità dei lombrichi, i prelievi sono stati effettuati separatamente rispetto ai campionamenti di terreno per le altre analisi, per cui non sempre le posizioni coincidono con quelle degli altri gruppi. Anche l'uso del suolo era quindi differente: O3, O5 e O6 erano seminati a frumento (O5 e O6 ex-maggesi), O4, O7 e O8 a cavolo o rapa. In relazione alla loro posizione cardinale le comunità di lombrichi presentano maggiori densità e biomasse lungo il transetto 1 (O1, O2, O3 e O4) rispetto al transetto 2 (O5, O6, O7 e O8). La diversa densità sembra imputabile al tipo di coltura. Ciò vale per i siti coltivati a frumento, ma non per quelli coltivati a rapa. Si nota inoltre un'alta variabilità fra le comunità: in alcuni punti - O2, O5, O6 - manca il gruppo endogeno, che è quello maggiormente sensibile alla contaminazione del suolo. Nonostante ciò non è stato possibile imputare l'esistenza di differenze all'interno della comunità dei lombrichi alla vicinanza dell'autostrada. L'uso del suolo invece influenza fortemente l'evoluzione delle comunità.

EPT

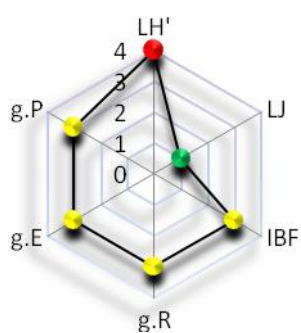
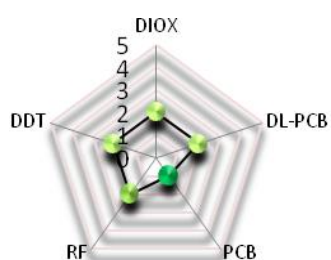
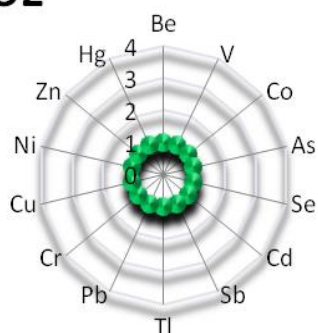
XENOBIOTICI ORGANICI

INDICATORI BIOLOGICI

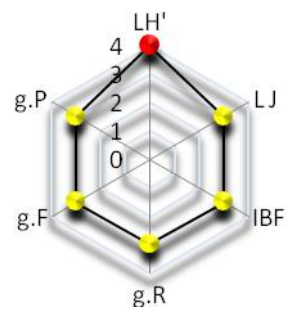
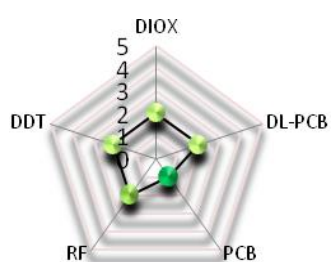
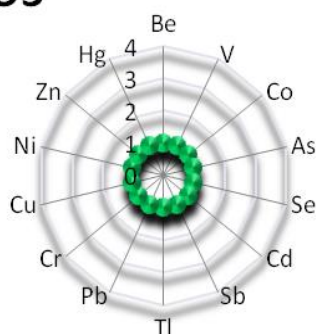
01



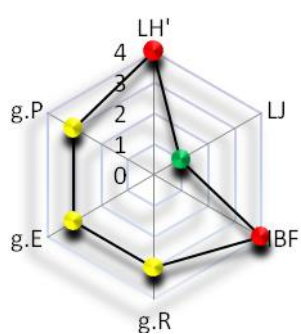
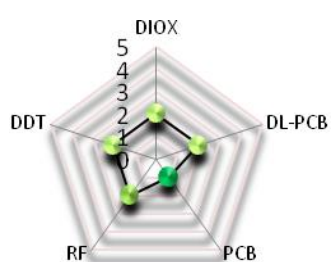
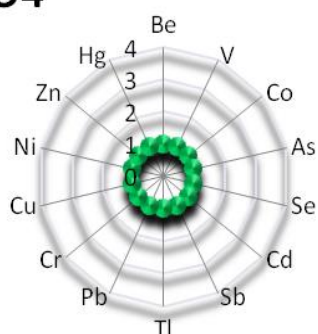
02



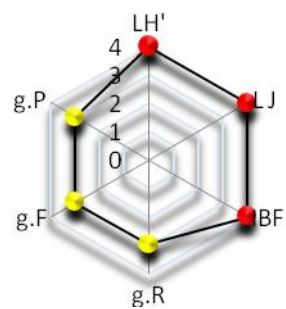
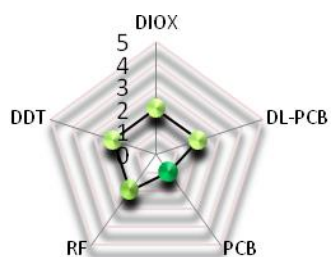
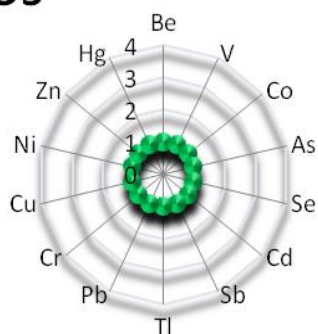
03



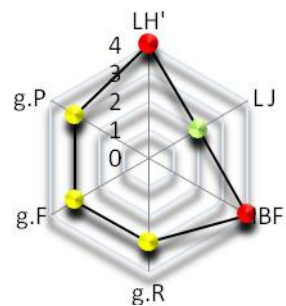
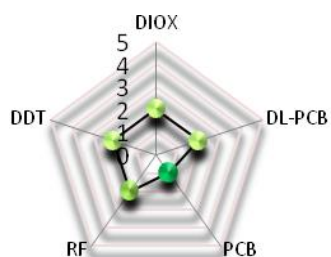
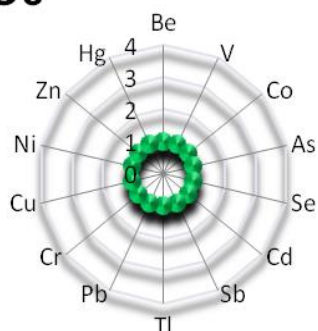
04



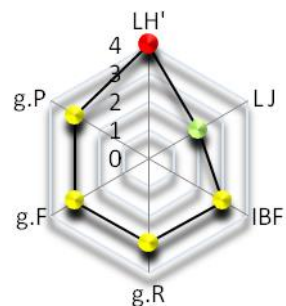
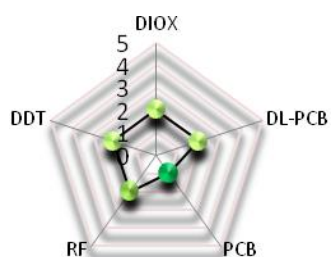
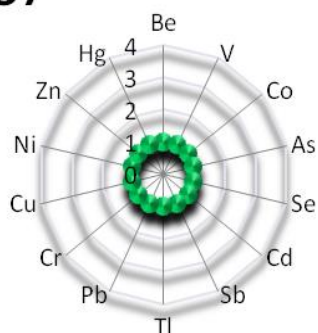
05



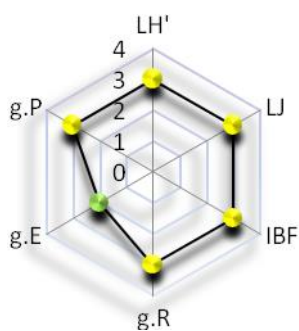
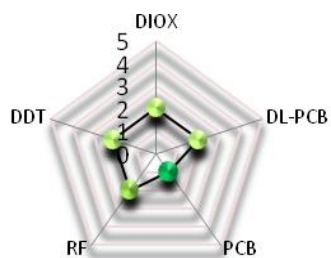
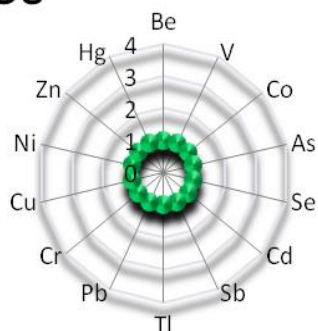
06



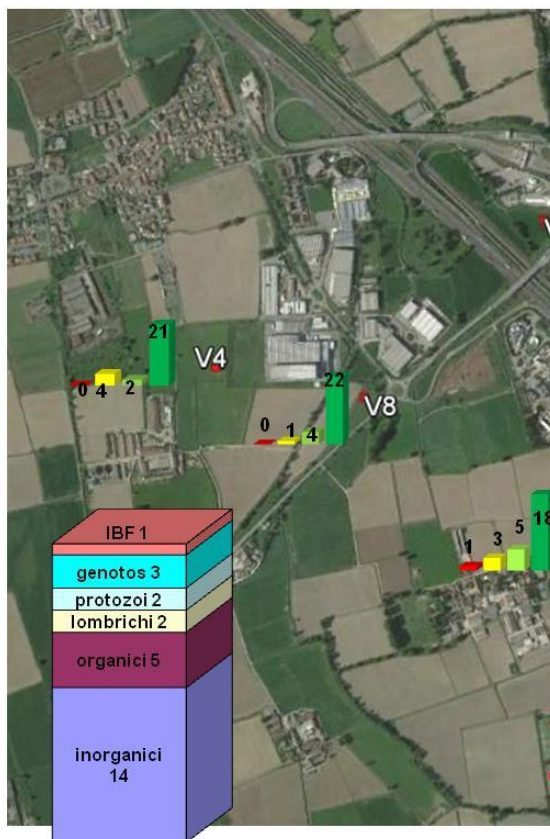
07



08



2. Impianto di rigenerazione di oli esausti Viscolube (LO)



L'area adiacente all'impianto Viscolube presenta terreni di tipo franco-sabbioso, con una percentuale di sabbia intorno al 50% e argilla circa il 7%. Il pH oscilla tra acido e subacido. La SO è scarsa e la CSC media. Gli EPT mostrano un solo superamento del limite legislativo per lo Zn nel punto V7 (161 mg kg⁻¹ contro i 150 mg kg⁻¹ imposti dalla legge).

Nessun superamento invece a carico degli xenobiotici organici.

L'assenza di contaminanti organici viene confermata anche dal test col biosensore DR-CALUX che mostra un segnale per gli estratti totali in solo due degli otto campioni, V7 e V8. Gli inquinanti organici biodisponibili sono inferiori al limite di quantificazione.

Nessuna evidenza di contaminazione da ⁶⁰Co e ¹³⁴Cs. Il ¹³⁷Cs rientra nei valori di deposizione del 1986.

Il livello di fertilità biologica è medio e, in V2 e V8, buono.

Per quanto riguarda le attività enzimatiche non si riscontrano correlazioni col contenuto di inquinanti ed il loro livello appare buono.

I test biologici su *Trifolium repens* mostrano genotossicità per la radice in V4, V5, V6 e V7, e genotossicità moderata in V1, V2, V3, V8. Tali effetti sono attribuibili ai bassi valori di pH del suolo che aumentano la biodisponibilità delle sostanze inquinanti, anche se presenti in quantità limitate.

Lo studio delle caratteristiche della comunità dei protozoi ciliati individua 49 specie, 11 delle quali dominanti. 5 di queste sono a selezione *r*, cosiddette opportuniste. Il *C/P index* (rapporto fra specie a selezione *r* e specie a selezione *k*) complessivo del sito è pari a 0,83, indicando un suolo idoneo alla vita dei ciliati. Il maggior numero di specie è stato rinvenuto nel punto V2 che registra anche le abbondanze maggiori e che, come riportato sopra, ha anche un livello di fertilità buono. I punti V4 e V5 presentano i numeri minori di specie e le abbondanze più basse. Vi è la presenza anche di specie indicanti condizioni anossiche del terreno. Va notato però che l'uso del suolo per questo test è un poco diverso da quello del prelievo generale: le aree V4 e V7 destinate a colture cerealicole nel prelievo generale, sono invece medicai nel prelievo per i protozoi.

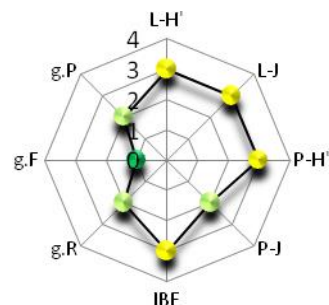
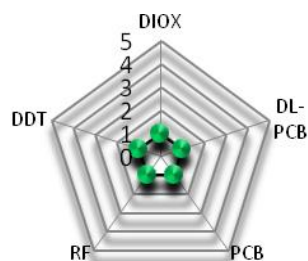
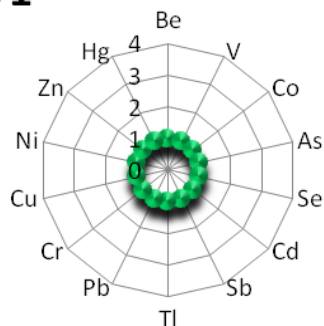
L'area appare anche favorevole alla presenza di lombrichi. Lo studio identifica 15 specie e registra alti valori di densità e biomassa. In relazione alla loro posizione cardinale, le comunità di lombrichi presentano una minor densità e biomassa nella fascia meridionale: V7 e V3. Tale bassa densità può essere causata dall'impatto industriale, ma non è correlata con le concentrazioni di metalli pesanti. Di contro, le comunità di V1 e V8 hanno maggiore densità, biomassa e diversità, fattori che non sono correlabili con le caratteristiche del suolo. La minor ricchezza di specie è stata individuata nel punto V5. Nel punto V2 si nota la presenza della sottospecie LRC di *Lumbricus rubellus*, assente nelle altre zone a prato, che indica l'esistenza di un fattore di controllo, non evidenziabile con le analisi statistiche. Le differenze in densità, biomassa, diversità non trovano riscontro né nelle caratteristiche del suolo, né nelle concentrazioni di inquinanti, per lo meno non in modo significativo. Le condizioni locali influenzano fortemente l'evoluzione delle comunità, probabilmente tanto quanto l'uso del suolo è in grado di farlo.

EPT

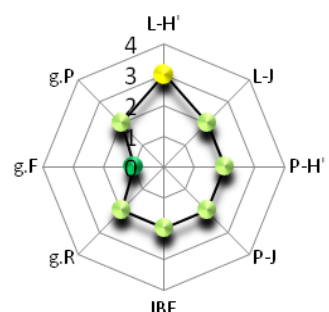
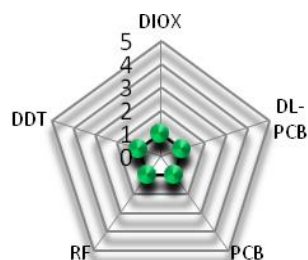
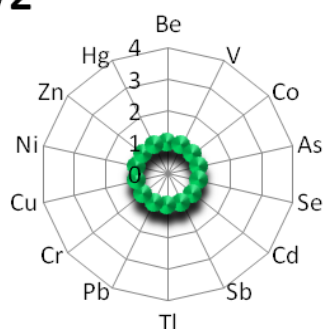
XENOBIOTICI ORGANICI

INDICATORI BIOLOGICI

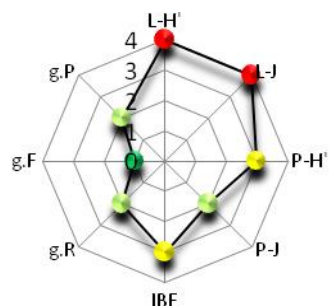
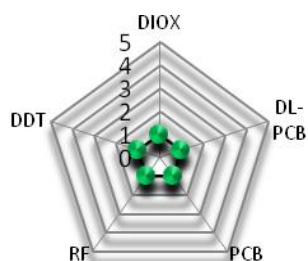
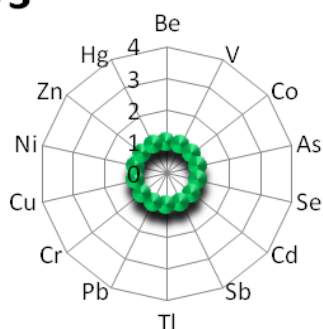
V1



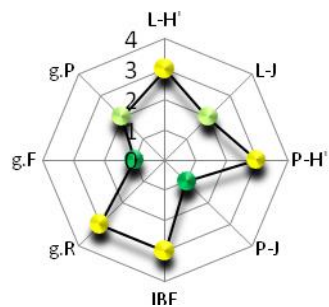
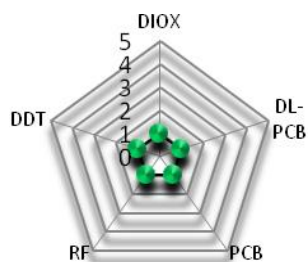
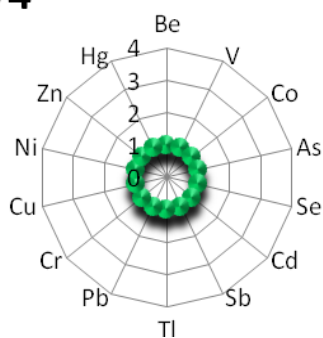
V2



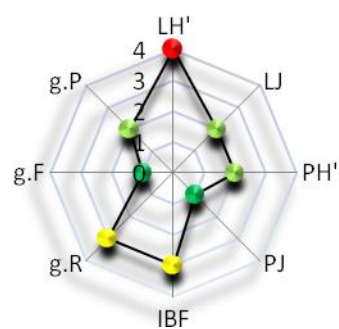
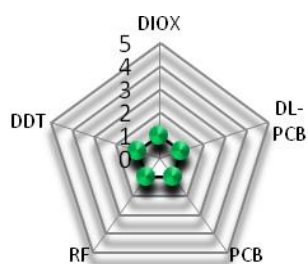
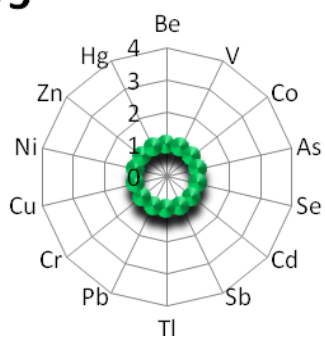
V3



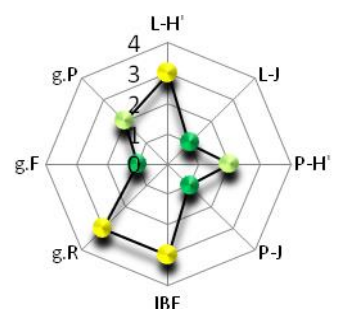
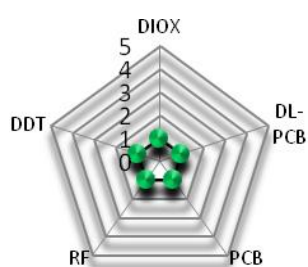
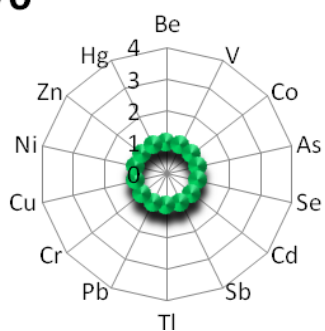
V4



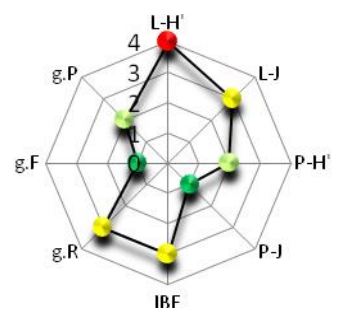
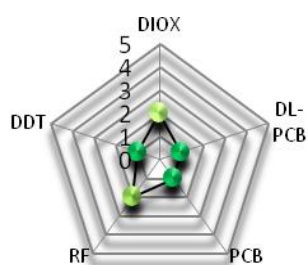
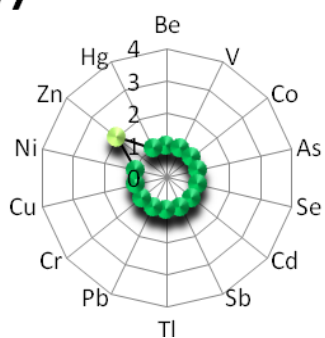
V5



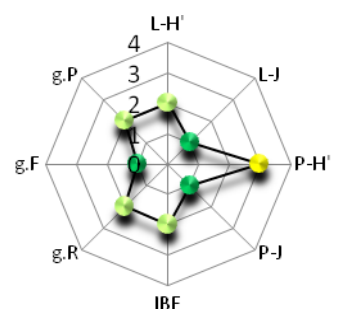
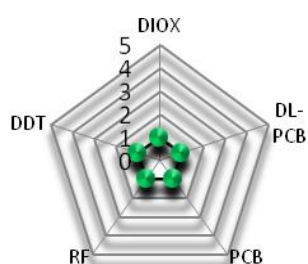
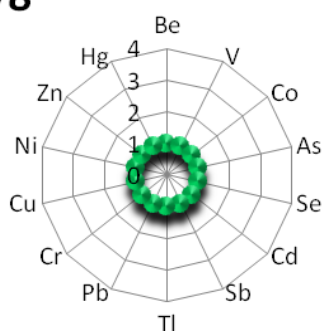
V6



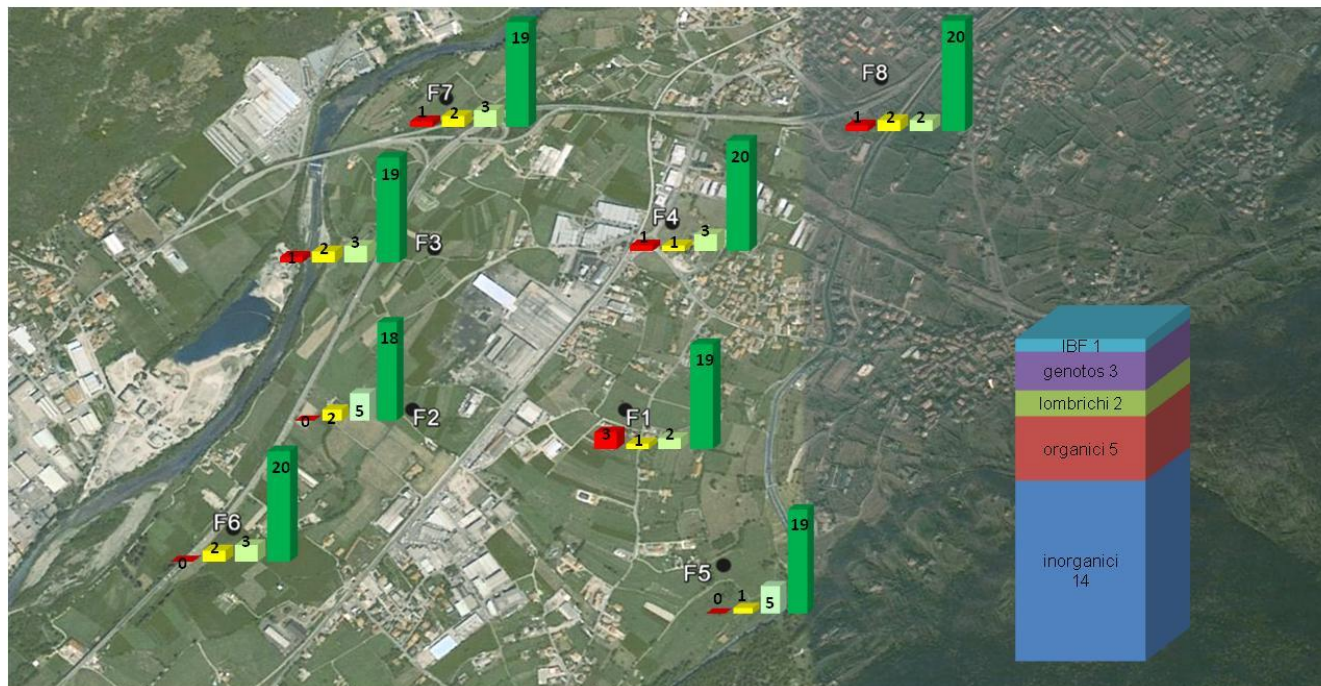
V7



V8



3. Fonderia dismessa a Darfo Boario Terme (BS)



Gli otto punti campionati ad una distanza massima di mille metri dall'impianto ormai dismesso mostrano pH variabile, tendenzialmente acido in direzione sud-est a ridosso del rilievo, e basico lungo il greto del corso d'acqua presente ad ovest. La tessitura è prevalentemente sabbiosa (60%), mentre l'argilla non supera mai il 2%. La CSC è media e la sostanza organica varia da soddisfacente ad elevata. Il C/N ricade mediamente nella fascia ottimale.

Dal punto di vista degli EPT è da segnalare un solo superamento per lo Zn in F2; va precisato che i terreni di questa zona, in fase generale, hanno registrato al 95° percentile un valore per lo zinco prossimo al limite tabellare A del D.Lgs 152/06.

Sempre per gli EPT è da segnalare l'elevata presenza di arsenico, per il quale tutti i punti campionati hanno mostrato concentrazioni superiori sia al limite tabellare A di 20 mg kg⁻¹ (F2, F5, F6, F7), che al tabellare B di 50 mg kg⁻¹ (F1, F3, F4, F8), con valore massimo pari a 116 mg kg⁻¹ che fa presupporre contaminazione di origine antropica. In fase generale il 95° percentile per l'arsenico per la categoria di terreni di cui la zona fa parte era pari a 30 mg kg⁻¹.

Nessuna evidenza di contaminazione da ⁶⁰Co e ¹³⁴Cs. Il ¹³⁷Cs rientra nei valori di deposizione del 1986.

Per quanto riguarda gli xenobiotici organici nessuna delle categorie POPs (Persistent Organic pollutant) indagate risulta superiore ai limiti di legge, laddove previsti.

I dati ottenuti mediante il biosensore DR-CALUX hanno mostrato una totale assenza di segnale relativo alla frazione biodisponibile degli inquinanti organici, cosa che potrebbe lasciar supporre un esaurimento della stessa nel passare degli anni, anche considerando

che l'impianto è inattivo da un certo periodo di tempo. La frazione totale ha invece generato segnale per ogni campione, ed in particolare per il sito F7 la risposta ottenuta appare oltre 40 volte superiore alle altre, che invece sono più omogenee.

La fertilità biologica è medio-buona, con oscillazioni della popolazione microbica che non sembrano essere legate al maggiore o minore tenore in carbonio organico. I livelli di respirazione basale appaiono sempre elevati, indipendentemente dalla popolazione microbica.

Le attività enzimatiche appaiono buone, ma variabili all'interno dell'area. Occorre tenere presente che i punti in questione hanno pH molto diverso: le fosfatasi acida ed alcalina seguono appunto l'andamento del pH, come confermato in questi punti.

Il test di tossicità dei terreni effettuato mediante l'indicatore *Trifolium repens* ha mostrato una sopravvivenza del 100% nella maggior parte dei punti, mentre in F1, F4 e F7 le percentuali si sono rivelate rispettivamente del 94%, 92% e 94%, che però non possono essere considerate significative. Si può quindi affermare che non sussistono condizioni di tossicità atte ad indurre mortalità dell'indicatore o riduzione della crescita.

Lo stesso indicatore è stato usato per valutare la genotossicità delle sostanze presenti nei suoli, che in tutti i casi si è rivelata moderata per la radice. Questi dati nel loro complesso suggeriscono la presenza di sostanze potenzialmente genotossiche nel suolo, biodisponibili per l'indicatore, che non vengono traslocate al germoglio. La presenza di una concentrazione elevata di arsenico potrebbe spiegare il danno arrecato dal suolo al DNA del bioindicatore.

Il campionamento per la valutazione della comunità dei lombrichi si è differenziato in alcuni punti (F3, F4 e F7) da quello per le altre analisi. L'uso del suolo era il seguente: F1, F2, F4 corrispondevano a prato, F3 e F6 a mais post-raccolto e F8 e F5 a pascolo. L'analisi della biomassa e della densità mostra come le comunità più abbondanti si trovino proprio nei pressi della fonderia (F2, F3, F4), dove prevalgono individui del gruppo endogeo. Il sito F1 in particolare presenta una comunità totalmente rappresentata dal gruppo endogeo. Minore

densità e minore biomassa sono state riscontrate invece in direzione sud-est, in F2 e F5.

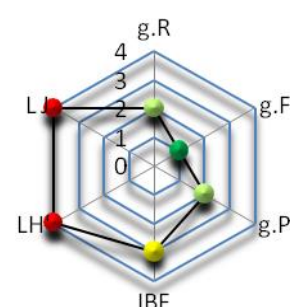
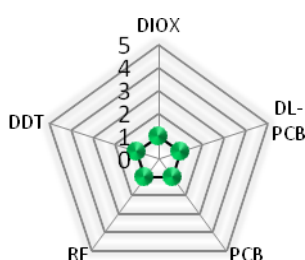
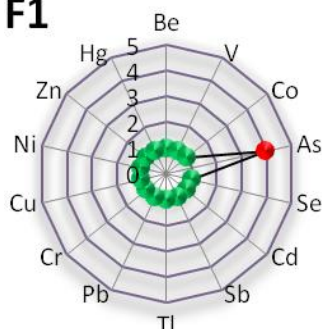
I siti F4 e F1, entrambi a prato, differiscono in termini di densità, biomassa e ricchezza di specie. Se ne deduce che le biomasse e le densità non possono essere messe in relazione con l'uso del suolo. Per quanto riguarda gli inquinanti presenti in quantità superiori ai limiti legislativi, come l'arsenico in tutti i punti e lo zinco in F2 (e lo stagno in F4), è difficile stabilirne l'impatto sulla comunità dei lombrichi.

EPT

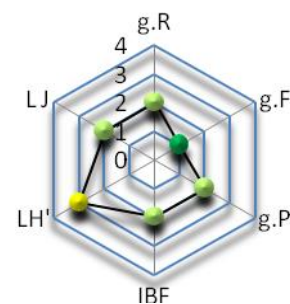
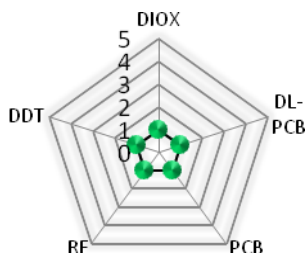
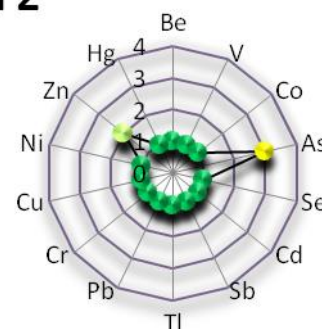
XENOBIOTICI ORGANICI

INDICATORI BIOLOGICI

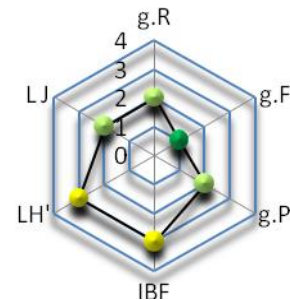
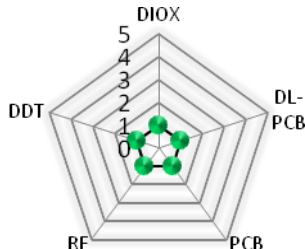
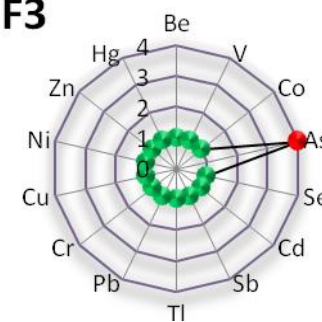
F1



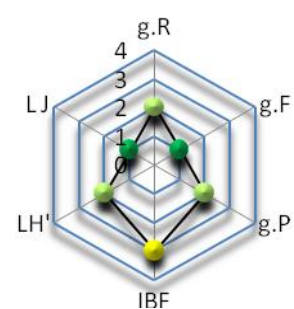
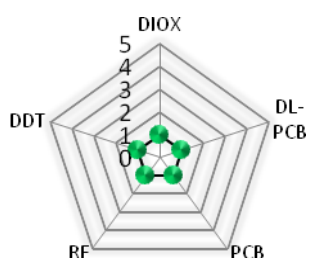
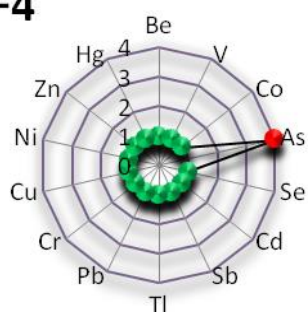
F2



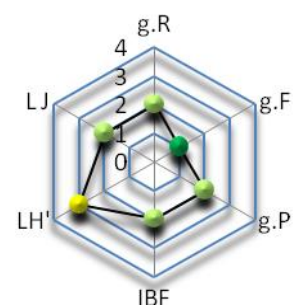
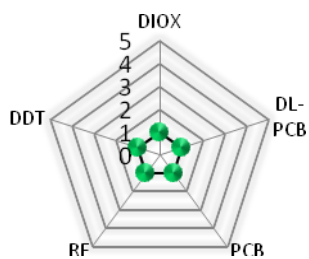
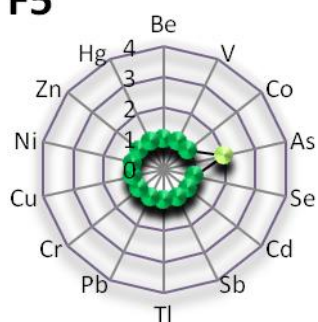
F3



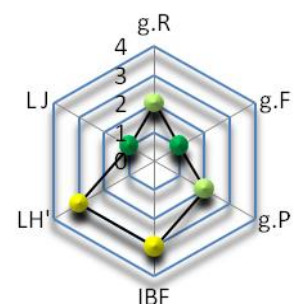
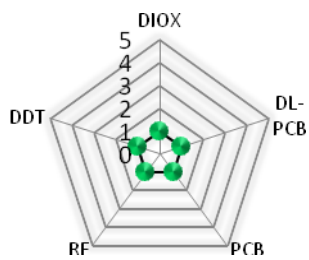
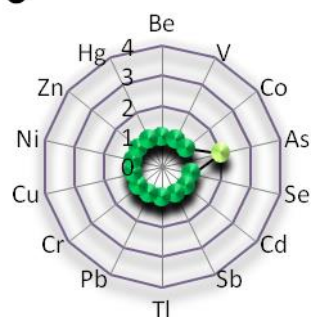
F4



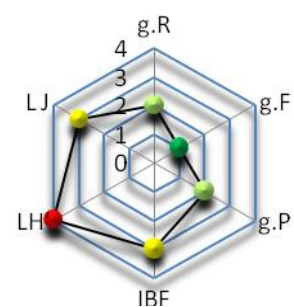
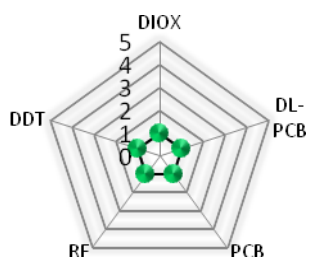
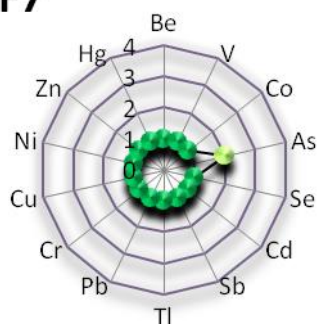
F5



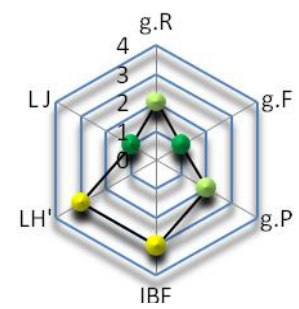
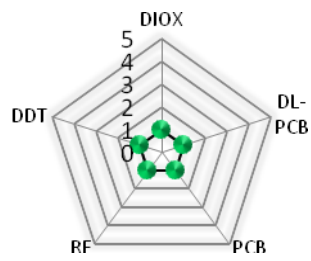
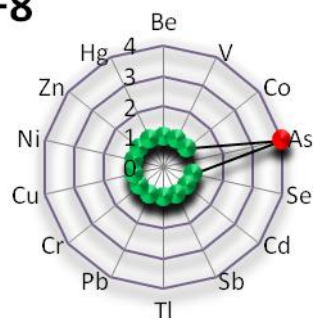
F6



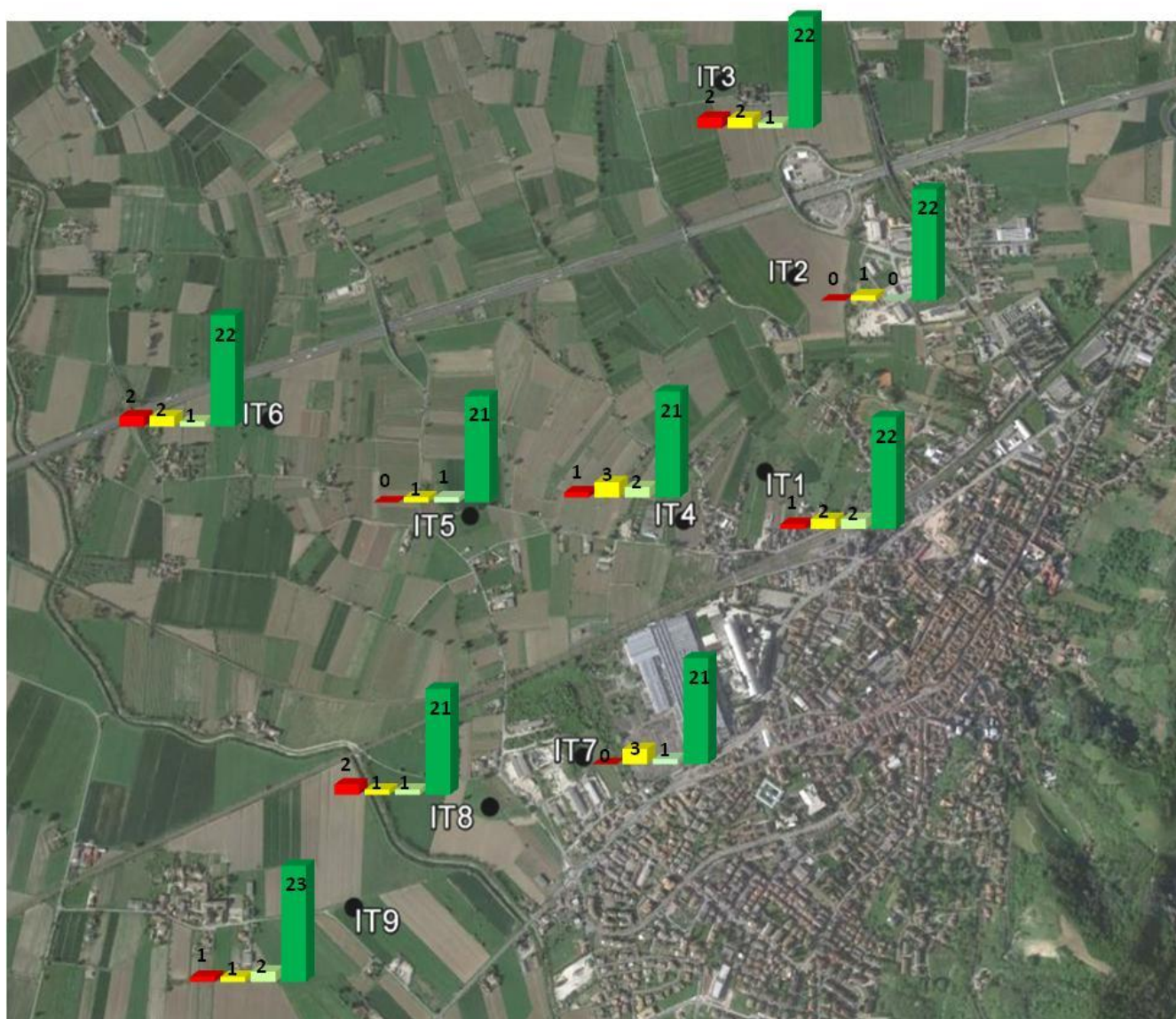
F7



F8



4. Cementificio Italcementi a Broni (PV)



In questa area sono stati raccolti nove campioni a distanze progressive dallo stabilimento (500 m, 1000 e 1500 m), in direzione nord-ovest, ovest e sud-ovest. Nessun punto è stato campionato ad est per la presenza dell'abitato di Broni.

I terreni di questa area, dedicati alla produzione di erba medica e cereali al momento del campionamento, presentano una tessitura composta soprattutto da limo (44%) ed argilla (40%), con un pH subalcalino-alcalino (7,5 – 8,1). Nonostante ciò la CSC è bassa e la sostanza organica, tenuto conto della percentuale di argilla, presenta un tenore molto modesto ma con un C/N ottimale pari a 10.

I campioni provenienti da questa zona sono stati sottoposti in via cautelare alla verifica della presenza di amianto, che ha dato esito negativo in tutti i casi.

Per quanto riguarda gli EPT lo Sn (sempre superiore al limite tabellare A come nel resto della regione), in IT8 mostra un valore ben diverso dagli altri punti (5,16 mg

kg⁻¹). Il Cu sfiora il limite A pari a 120 mg kg⁻¹ in IT8, IT7, IT4, IT5 e IT6 con valori compresi tra 211 e 365 mg kg⁻¹, inferiori al limite B pari a 600 mg kg⁻¹ ma non giustificabili rispetto a quanto trovato in fase generale (95°percentile).

Nessuna evidenza di contaminazione da ⁶⁰Co e ¹³⁴Cs. Il ¹³⁷Cs rientra nei valori di deposizione del 1986.

Per quanto riguarda i POPs indagati non si segnala alcun superamento dei limiti di legge previsti.

Il test condotto con il DR-CALUX restituisce una sola risposta, in IT1, per quanto riguarda la biodisponibilità degli organici nei confronti del bioindicatore. Tale risultato è circa quattro volte più elevato rispetto a quello ottenuto in risposta al totale sul punto in questione. Tutte le altre risposte dell'indicatore relative alla quantità totale di inquinanti organici presenti sono paragonabili alle altre aree e abbastanza omogenee (le più elevate appartengono a IT1, IT4, IT5 e IT8).

I terreni prelevati non hanno indotto fenomeni di genotossicità sul bioindicatore *Trifolium repens*, data la probabile ridotta biodisponibilità degli elementi inorganici dovuta al pH alcalino del suolo. Per quanto riguarda la tossicità, si è registrata una diminuzione significativa della crescita delle radici in tutti i punti, e del germoglio solo nel punto IT5. Si ipotizza che la diminuzione della crescita sia dovuta alla tessitura dei terreni, caratterizzata da un'alta percentuale di argille.

La fertilità biologica è bassa in IT3 e IT6, media negli altri siti. La popolazione microbica oscilla fra valori normali e bassi. Le attività enzimatiche sono risultate variabili, ma in linea con l'uso del suolo.

La caratterizzazione delle comunità di protozoi ciliati ha evidenziato un totale di 41 specie, di cui 10 dominanti. Fra queste, 6 sono a strategia r, indice della possibile presenza di contaminanti o di disturbo delle condizioni del suolo. L'indice C/P=2 mostra che il sito è poco idoneo per le comunità dei ciliati.

L'uso del suolo è rappresentato da medicaia, fatta eccezione per il punto IT4 coltivato a grano. Il sito mostra bassi valori di ricchezza di specie e di diversità. Il maggior numero di specie è stato rinvenuto nel punto IT1 che registra anche le abbondanze maggiori. Il punto IT6 presenta il numero minore di specie oltreché l'abbondanza più bassa.

Per quanto riguarda la comunità dei lombrichi, campioni sono stati prelevati nei punti: IT1, IT3, IT4,

IT6, IT8, IT9. L'area è caratterizzata da un'alta differenziazione di densità di lombrichi e di biomassa, anche se cinque siti, ad eccezione di IT4, avevano lo stesso tipo di uso di suolo (medicaia). La tessitura dei terreni sembra essere selettiva per le specie di lombrichi presenti, dal momento in cui un alto contenuto in argilla (> 33%) ha determinate conseguenze sulla funzionalità del suolo e specialmente sulle sue proprietà idrauliche. Per questo motivo la comunità qui presente era caratterizzata da una bassa densità e presentava inoltre un basso potenziale di diversità, con solo 6 taxa raccolti. Il gruppo endogeno è quello largamente dominante la comunità.

Il sito IT9 è quello che mostra la più alta ricchezza di specie. Gli altri punti, eccetto IT8, sono caratterizzati da una bassa diversificazione di lombrichi. Il punto IT8 è apparso come il peggiore dal punto di vista della comunità dei lombrichi (vi è stato raccolto un solo individuo), e mostra grandi differenze rispetto al vicino IT9, più lontano dall'impianto, ma nella stessa direzione cardinale.

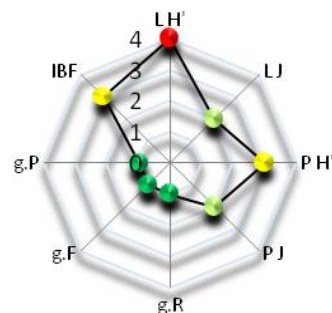
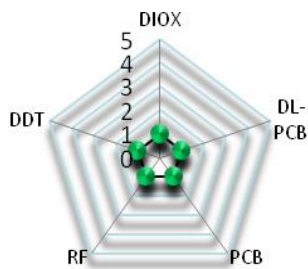
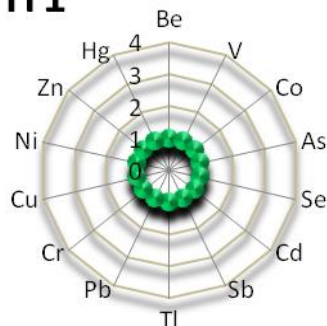
La parziale inclusione nel nucleo urbano e la storia agricola dei siti possono contribuire nel mantenere bassa la presenza di lombrichi; il rame, qui particolarmente presente, influisce negativamente su tali organismi.

EPT

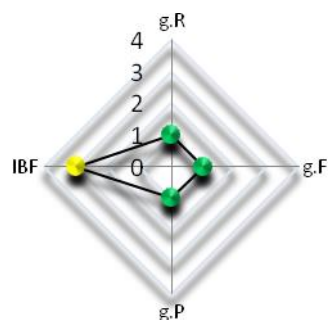
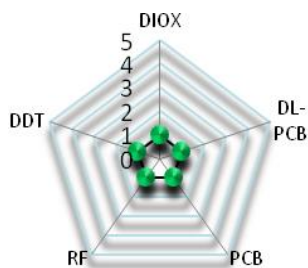
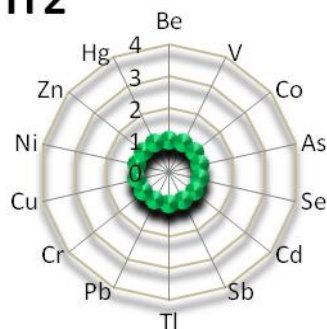
XENOBIOTICI ORGANICI

INDICATORI BIOLOGICI

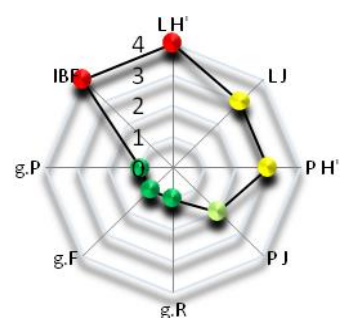
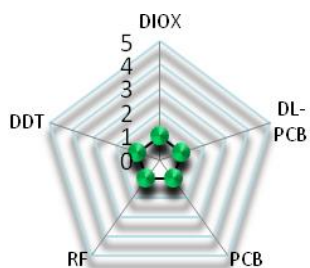
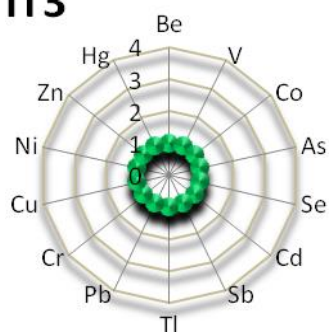
IT1



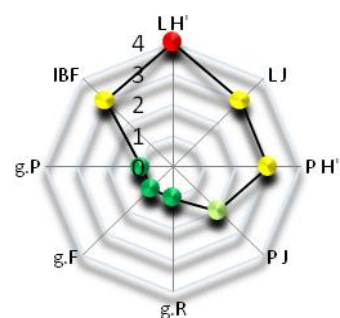
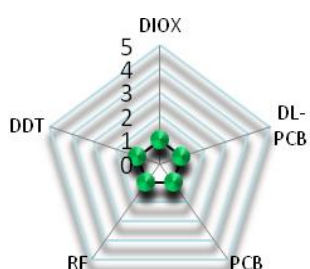
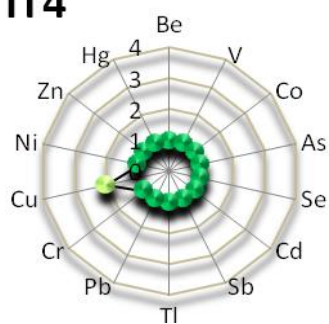
IT2



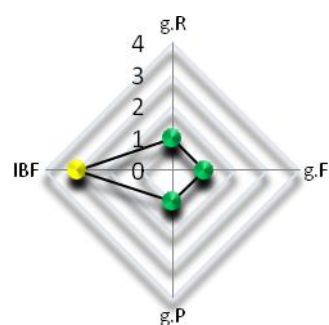
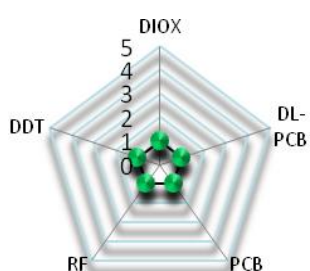
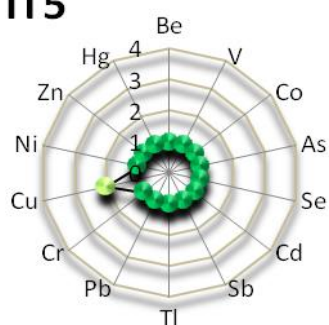
IT3



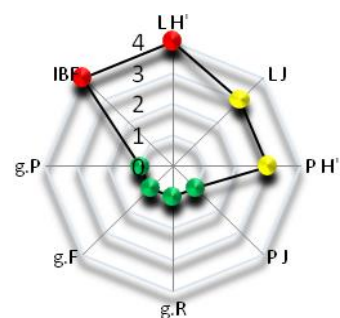
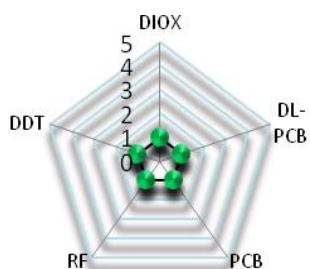
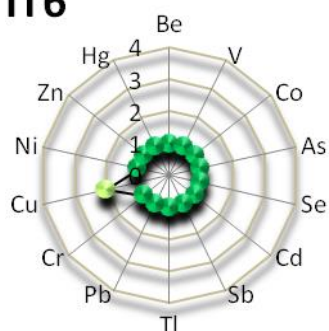
IT4



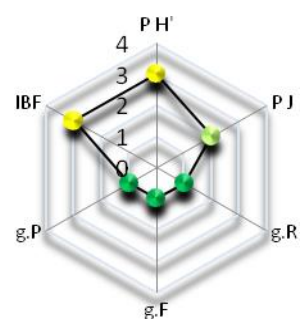
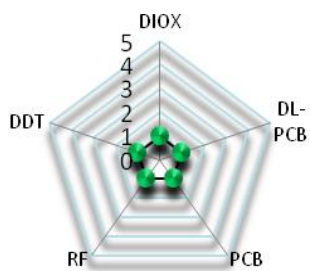
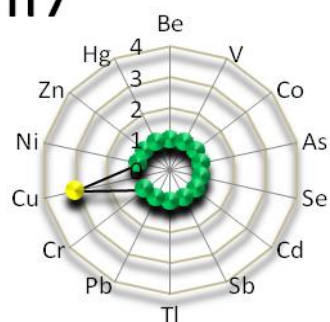
IT5



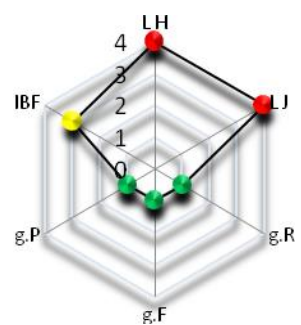
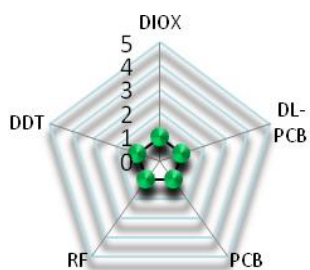
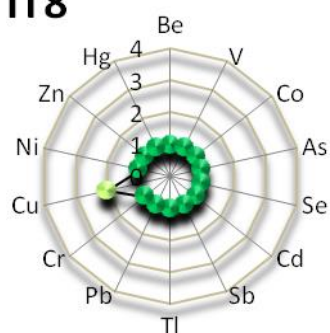
IT6



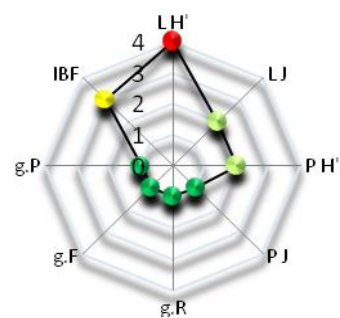
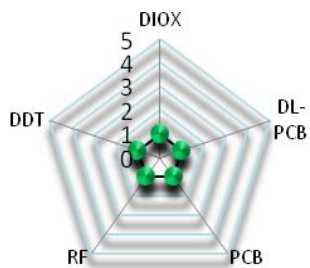
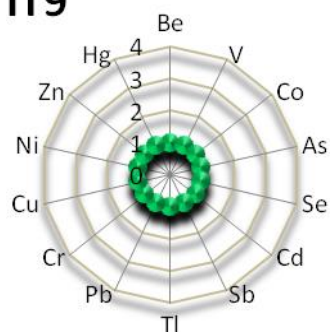
IT7



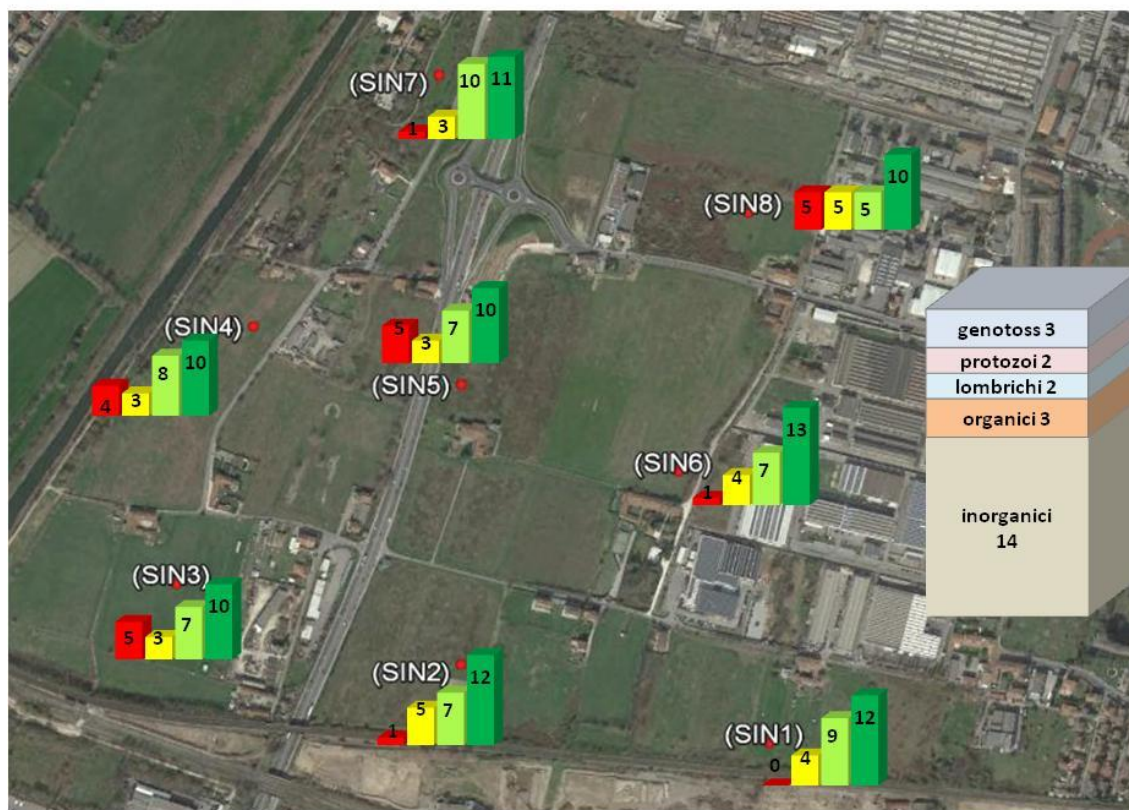
IT8



IT9



5. Sito di Interesse Nazionale Brescia Agricola



L'area in questione è stata dichiarata Sito di Interesse Nazionale nel 2003, e da allora i terreni al suo interno non possono essere oggetto di nessuna attività agricola né ricreativa. Gli otto punti di prelievo sono classificati come non-coltivati, con la sola eccezione del punto SIN7 che è classificato come prato urbano. Tutti i punti sono caratterizzati da pH subalcalino con valori oscillanti fra 7,5 e 8,0; l'analisi tessiturale ha rivelato una composizione in media rappresentata dal 44% di sabbia e 46% limo (terreno franco). La CSC è medio-elevata, così come il contenuto in sostanza organica (4,6%), tenuto conto del tenore in argilla. Il C/N è altrettanto elevato, cosa che suggerisce la tendenza della sostanza organica a non poter essere utilizzata dai microrganismi per carenza di azoto. Il terreno dell'area SIN è calcareo (calcare totale > 5%).

Per quanto riguarda gli EPT gli elementi che hanno rivelato superamenti dei limiti di legge sono: arsenico, tallio, rame, mercurio, zinco e piombo.

L'arsenico supera in 4 punti il limite inferiore (20 mg kg⁻¹): SIN7, SIN2, SIN6, SIN1. Nei restanti siti supera invece il limite B (50 mg kg⁻¹). Per il mercurio sei punti su otto sfiorano i limiti, due l'A e quattro il B. È opportuno notare che questi ultimi sono gli stessi che hanno superato il limite B per l'arsenico. Lo zinco in sei casi su otto (S1, S3, S4, S5, S7, S8) ha superato il limite A pari a 150 mg kg⁻¹, con una media pari a 276 mg kg⁻¹. Il piombo supera il limite A esattamente negli

stessi punti visti per lo zinco. Esso ha mostrato valori pari al doppio e perfino a sei volte il limite di 100 mg kg⁻¹. Vale la pena notare che in tutti i casi il valore più elevato è stato riscontrato nel punto SIN8. Le concentrazioni elevate suggeriscono un'origine antropica della contaminazione qui presente.

Non c'è evidenza di contaminazione da ⁶⁰Co e ¹³⁴Cs. Il ¹³⁷Cs rientra nei valori di deposizione del 1986.

Anche gli xenobiotici organici hanno mostrato diversi superamenti dei limiti previsti, e da un confronto con questi ultimi si evince che per quanto concerne le diossine solo SIN7 ne è al di sotto. Per i composti diossino-simili ci siamo riferiti allo stesso limite legislativo imposto alle diossine, per mancanza di un riferimento di legge ad essi specificamente attribuito; in questo caso nessun punto ne è al di sotto. La maggior parte dei punti supera il limite tabellare B. Per i PCB solo SIN3 supera il limite A.

Anche l'applicazione del biosensore DR-CALUX conferma gli alti livelli di contaminazione da POPs, mostrando risposte ben maggiori rispetto a tutte le altre zone, sia dal punto di vista della frazione biodisponibile per l'indicatore (in SIN2, SIN3, SIN5 e SIN8), che per il totale, riscontrato in tutti i punti campionati.

Occorre segnalare che le prove di tossicità condotte con l'indicatore *Trifolium repens* hanno mostrato il 100% di sopravvivenza degli individui. L'area si è rivelata

potenzialmente genotossica, ma le sostanze presenti sono probabilmente poco disponibili, a causa del pH alcalino. Il tipo di contaminazione qui presente dovrebbe infatti indurre un elevato danno genotossico. L'unico punto per il quale si ha un risultato che rientra nella classe di valutazione "genotossico" è S8, il sito maggiormente contaminato. Il disturbo si manifesta a livello radicale.

Dal punto di vista della fertilità biologica tutti i punti hanno mostrato condizioni medio-basse. Due siti, SIN2 e SIN6, versano in stati di stress-preallarme. Anche il coefficiente microbico Cbio (rapporto percentuale tra il C microbico e il C organico) è decisamente basso. Solo in SIN7 assume un valore normale, in accordo con il maggior punteggio di IBF ottenuto dallo stesso punto. Per tutti gli altri siti il Cbio è decisamente basso. Per quanto riguarda le attività enzimatiche leucina aminopeptidasi e β -glucosidasi sembrano essere più alte dei valori trovati nei terreni incolti della fase generale. Anche la fosfatasi alcalina appare elevata. Probabilmente la scarsa utilizzabilità della sostanza organica (C/N elevato) spinge ad un aumento dell'attività enzimatica per sopperire ai fabbisogni energetici degli organismi. Le condizioni di pH alcalino determinano l'aumento della fosfatasi alcalina. La caratterizzazione della comunità dei protozoi ciliati ha individuato complessivamente 46 specie. Le prime 5 posizioni delle 12 specie dominanti, sono occupate da specie opportuniste a selezione r, che tollerano meglio la presenza di inquinanti. Da questi dati è stato calcolato un C/P index complessivo del sito pari a 1,

indice di scarsa idoneità del sito per la vita dei protozoi ciliati. Il maggior numero di specie è stato rinvenuto nel sito SIN5 che insieme al sito SIN8 registra anche le abbondanze maggiori. Il sito SIN4, al contrario, registra il minor numero di specie e la minore abbondanza.

Lo studio dei parametri relativi alla comunità dei lombrichi mostra come l'area presenti alta variabilità di biomassa, densità e struttura funzionale. La contaminazione non è gradualmente distribuita rispetto alla posizione geografica. I tre siti con maggiore densità e diversità sono SIN1, SIN5 ed SIN2. SIN1 è il sito dotato della maggior ricchezza di specie, che sono negativamente correlate con i valori di pH. L'alta diversità del sito SIN1 mostra inoltre che l'arsenico ha effetto sulla differenziazione dei taxa dei lombrichi. La struttura tassonomica di SIN4 mette in luce invece specie correlate con le concentrazioni di molibdeno, manganese e calcio. Il sito SIN8 sembra essere correlato con metalli pesanti a concentrazioni elevate, specie per il Pb, ma nessuna specie ha presentato correlazioni con questa variabile. Va notato che SIN8 differisce dagli altri punti per lo stato di abbandono del campo e per la sua localizzazione in una zona umida.

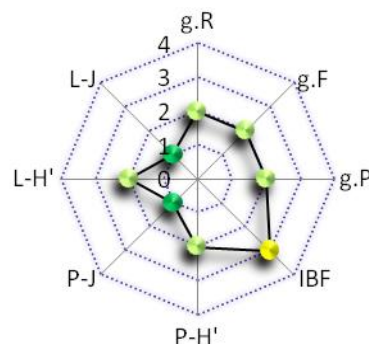
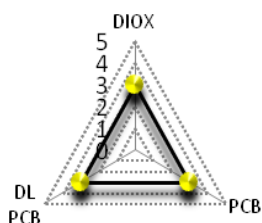
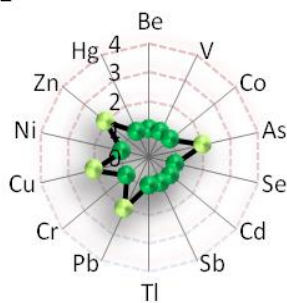
L'area SIN dimostra come i lombrichi siano in grado di adattarsi alle alte concentrazioni di inquinanti, adattamento non specifico di una specie. La densità e la diversità dei lombrichi può essere spiegata dalle condizioni di basso disturbo dovuto all'assenza di lavorazione dei suoli, che promuovono l'adattamento delle specie.

EPT

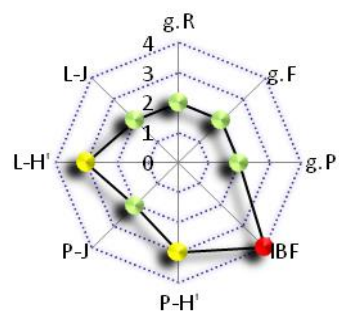
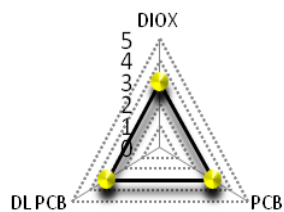
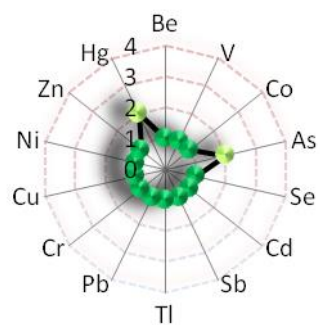
XENOBIOTICI ORGANICI

INDICATORI BIOLOGICI

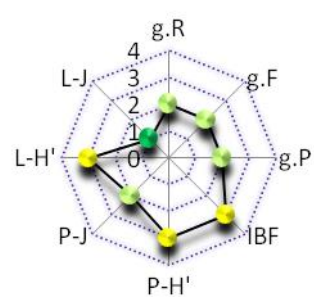
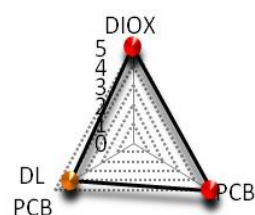
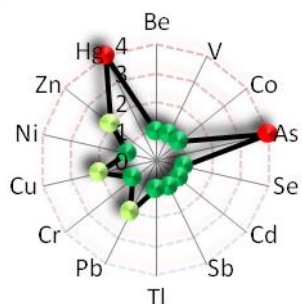
SIN1



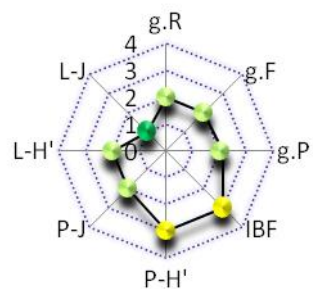
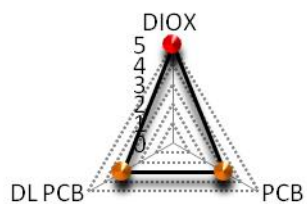
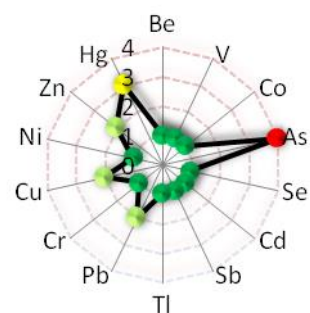
SIN2



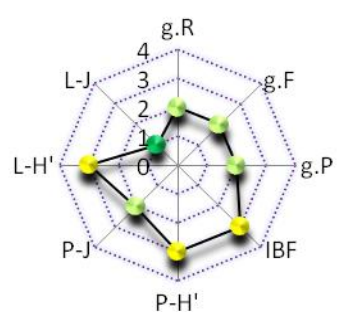
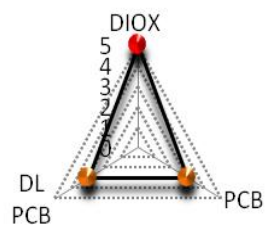
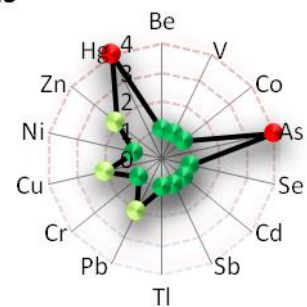
SIN3



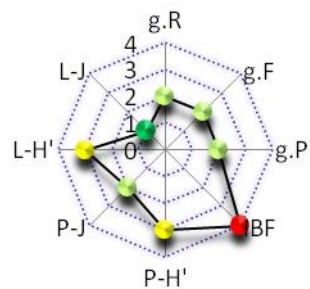
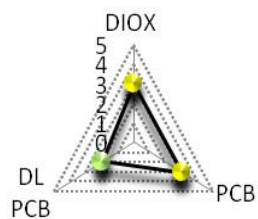
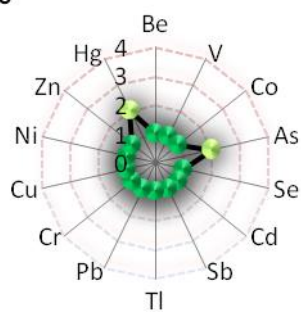
SIN4



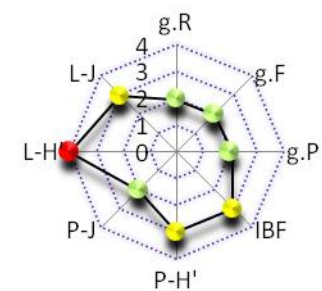
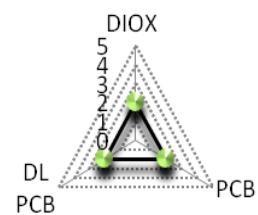
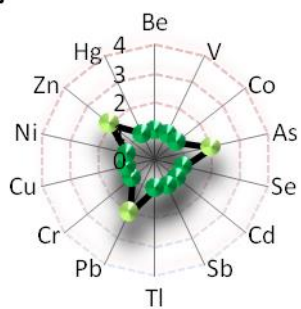
SIN5



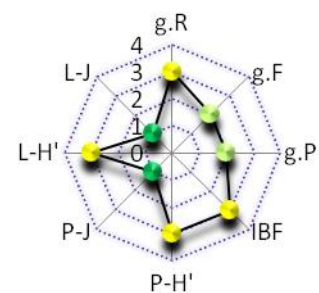
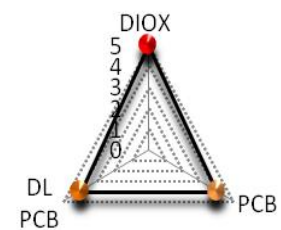
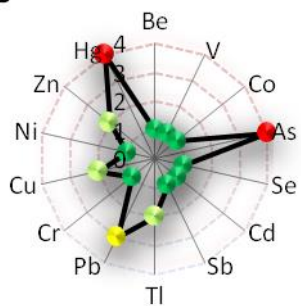
SIN6



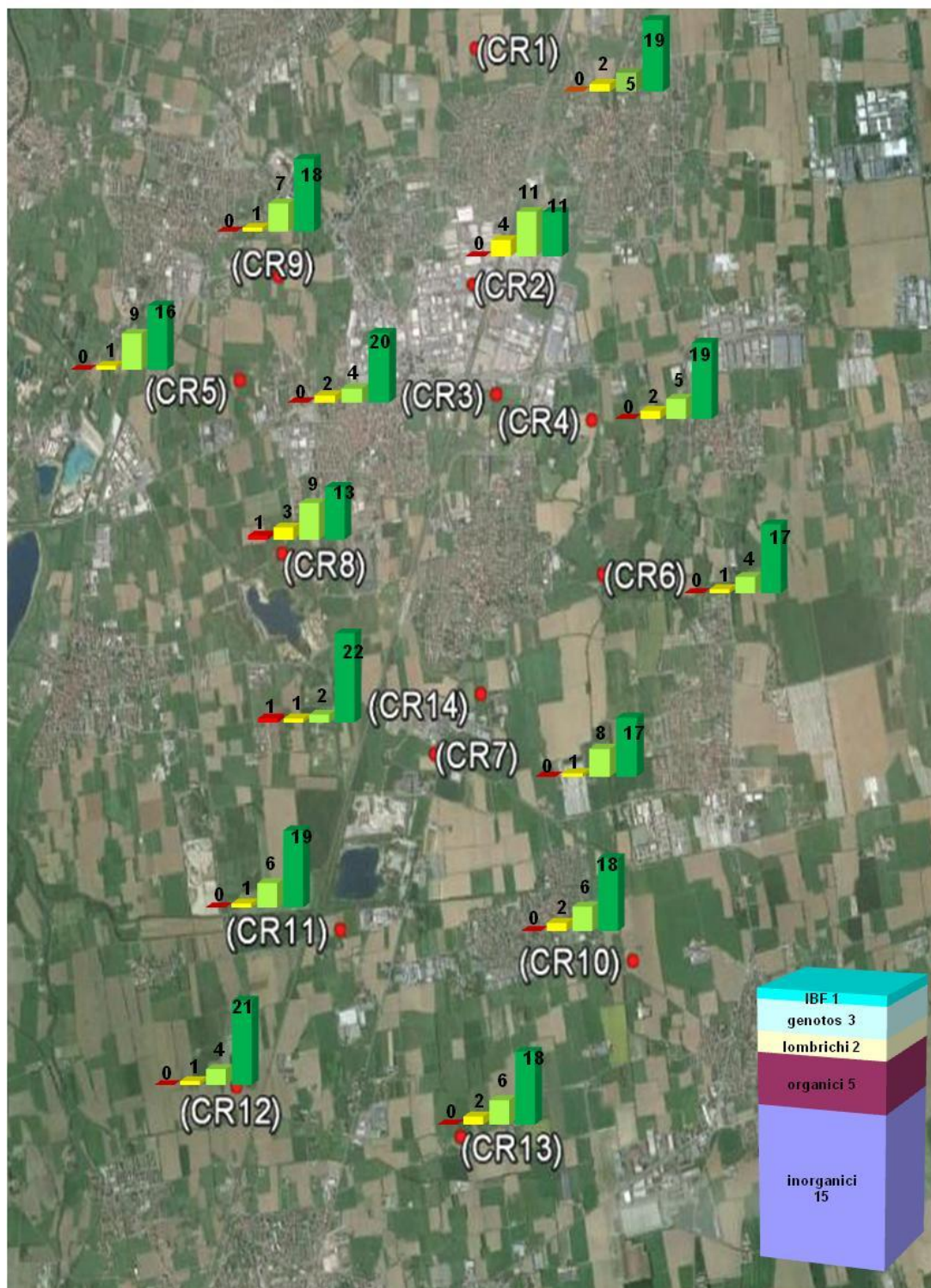
SIN7



SIN8



6. Area di contaminazione delle acque sotterranee da cromo esavalente



In quest'area di circa 25 km² sono stati raccolti 14 campioni in base ad una distribuzione omogenea su

tutto lo spazio interessato dalla presenza delle acque contaminate. Le caratteristiche dei terreni sono

conseguentemente variabili. Il pH assume valori subacidi (CR4, CR6, CR14 e CR12), subalcalini (CR2, CR5 e CR11) e neutri negli altri punti, oscillando in generale tra 6,2 e 7,7. Anche la tessitura varia, con il limo come classe prevalente compresa fra il 43 ed il 66%, mentre l'argilla varia fra il 5,6% ed il 23,5%. Il tenore in sostanza organica oscilla tra l'1,96 e il 4,57%; considerando la percentuale di argilla la zona sembra essere quindi mediamente dotata in modo soddisfacente. Il rapporto C/N è in media compreso tra il 7,5 ed il 10,2, nella maggior parte dei casi è circa pari a 8. Questo indica una tendenza alla mineralizzazione della sostanza organica qui presente.

Rispetto a tutti gli EPT indagati quattro hanno mostrato superamenti ai limiti imposti dal D.Lgs 152/06: arsenico, piombo, rame e zinco. I sei punti che hanno leggermente sfiorato il limite A dell'arsenico (max 20 mg kg⁻¹) si trovano nella fascia ovest, più adiacente ai rilievi montuosi (CR2, CR5, CR8, CR9, CR11, CR12); tali valori pertanto sarebbero dovuti al fondo naturale. Lo zinco mostra 4 superamenti del limite A (max 150 mg kg⁻¹), di cui uno (in CR2) pari a 739 mg kg⁻¹ più vicino al limite B (1500 mg kg⁻¹) (CR2, CR5, CR7, CR8). Dal punto di vista degli EPT il punto CR2 è completamente diverso dal resto dei siti, presentando sforamenti del limite A anche per rame e piombo, oltre a valori ben più elevati per la maggior parte degli elementi indagati pur senza superare il limite A.

Nessuna evidenza di contaminazione da Cr(VI) nei terreni indagati a seguito della diffusione delle acque contenenti tale elemento. Tuttavia CR8 supera il limite A pari a 2 mg kg⁻¹, presentando un valore di 2,40 mg kg⁻¹. Il lieve sfioramento fa pensare al fondo naturale. Il sito CR2 è anche il solo punto ad aver sfiorato il limite A del D.Lgs per la concentrazione ammissibile di diossine, mostrando inoltre valori più elevati anche per gli altri xenobiotici organici. Gli altri inquinanti organici sono tutti inferiori ai limiti di legge. La categoria dei pesticidi clorurati (di cui fa parte il DDT) ha mostrato valori più elevati nei punti CR2, CR10 e CR8. Altra particolarità legata al sito CR10 è emersa dall'analisi mediante DR-CALUX dalla quale si nota che proprio questo punto è stato l'unico a fornire una risposta di biodisponibilità degli inquinanti organici nel suolo. Per la risposta totale sono invece CR2 e CR8 ad avere il segnale più elevato. I BFR nei punti CR8 e CR10 superano il limite A stabilito per i PCB.

Non c'è evidenza di contaminazione da ⁶⁰Co e ¹³⁴Cs. Il ¹³⁷Cs rientra nei valori di deposizione del 1986.

Dai risultati sulla tossicità ottenuti con l'indicatore *Trifolium repens* si riscontra un tasso di mortalità significativo per i punti CR3 e CR6, mentre si ha riduzione significativa della crescita del germoglio in CR2, CR3, CR6, CR14. Si nota inoltre l'induzione da parte del suolo di un effetto ormetico, che è in accordo con la presenza di limitate concentrazioni di inorganici biodisponibili che potrebbero agire in modo additivo/sinergico. I dati ottenuti indicano la probabile presenza nel suolo di contaminanti genotossici, almeno parzialmente biodisponibili per l'indicatore *Trifolium repens*, che vengono traslocati al germoglio. I terreni sono tutti moderatamente genotossici.

Nell'area considerata il rapporto fra carbonio microbico e organico ci ha restituito valori oscillanti tra lo 0,2% (CR10 e CR13) e l'1,7% (CR7) del carbonio organico totale. Secondo il metodo di stima della fertilità biologica emerge la prevalenza di una condizione di fertilità media, un caso di stress-preallarme ed uno in cui si ha alta fertilità biologica. L'unico sito a destare preoccupazione da questo punto di vista è il CR14, dove è stata rilevata la condizione di stress.

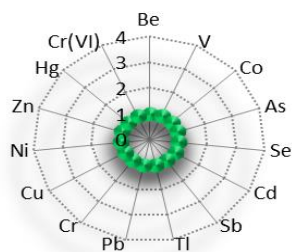
Per quanto riguarda le attività enzimatiche CR5 si distingue nettamente da tutti gli altri punti, con valori più elevati. Questo è in accordo con l'IBF, secondo il quale proprio CR5 è l'unico a possedere un'elevata fertilità.

La comunità dei lombrichi presenta valori variabili all'interno dell'area. L'uso del suolo campionato era a prato (CR2-CR3-CR5-CR6-CR12-CR13-CR14) e a mais (raccolto) (CR1-CR4-CR7-CR8-CR9-CR10-CR11). Le più alte densità di lombrichi e biomasse sono state registrate in zone praticole (CR5 e CR12), mentre i valori più bassi di questi parametri sono state riscontrate in CR3 (prato) per la biomassa, e in CR8 (mais) per la densità. Le distribuzioni di densità e biomassa non hanno tuttavia permesso di determinare le tendenze che sarebbero riconducibili al posizionamento dei siti nell'area.

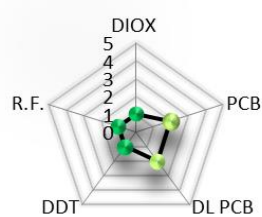
Le strutture funzionali presentano un'alta variabilità fra siti e fra usi di suolo. CR10 si distingue per l'elevata presenza di individui appartenenti al gruppo epigeo. La densità delle specie presenti nel sito CR10 è correlata con la concentrazione del cromo, che in questo punto è di 87 mg kg⁻¹, leggermente inferiore al limite di legge previsto per i suoli agricoli di 100 mg kg⁻¹. L'abbondanza, la biomassa e le strutture funzionali dei lombrichi sono apparse però irrilevanti ai fini della ricerca dei fattori regolatori dell'evoluzione delle comunità di lombrichi.

EPT

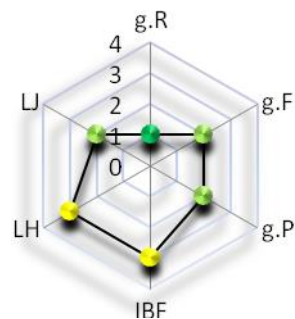
CR1



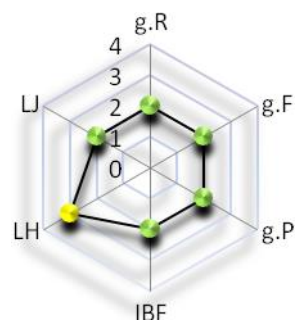
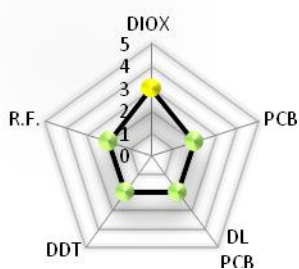
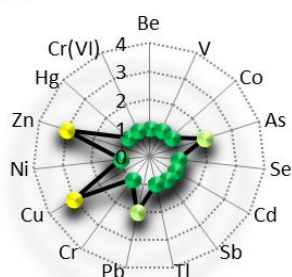
Inquinanti organici xenobiotici



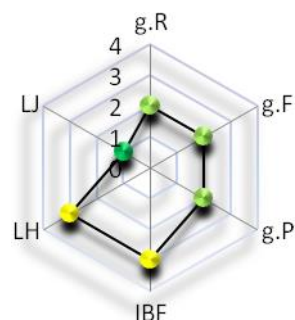
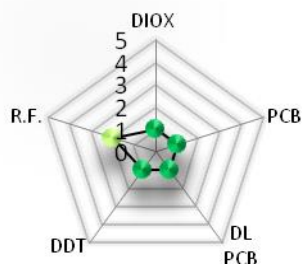
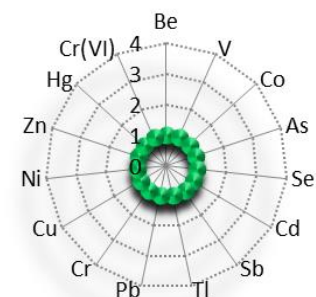
Indicatori biologici



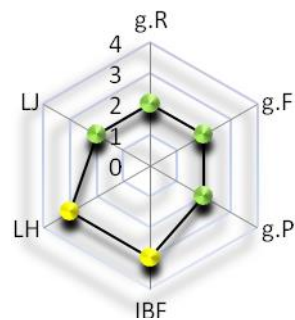
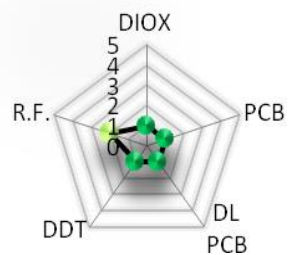
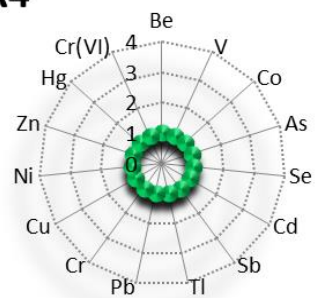
CR2



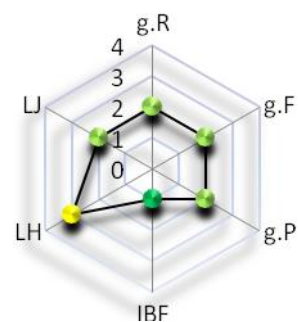
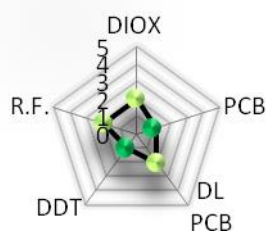
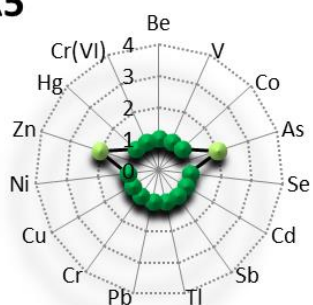
CR3



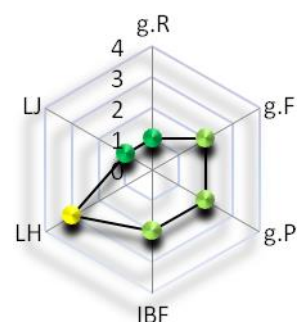
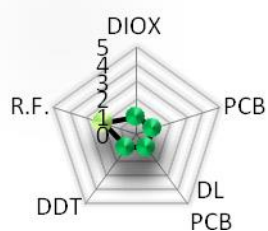
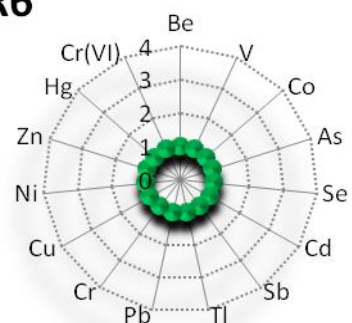
CR4



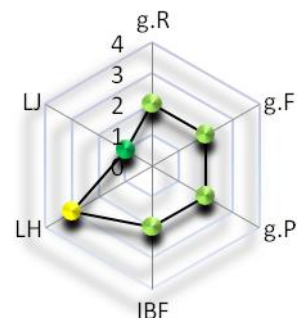
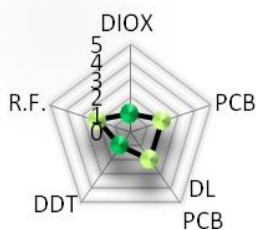
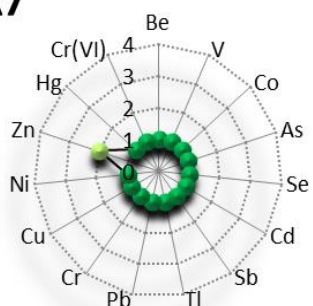
CR5



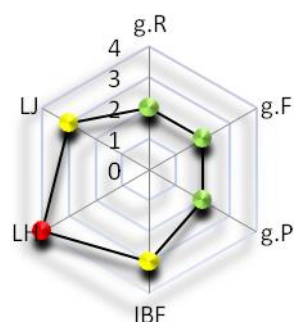
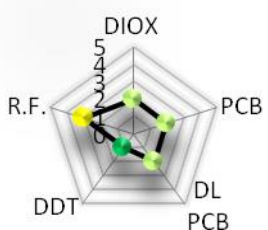
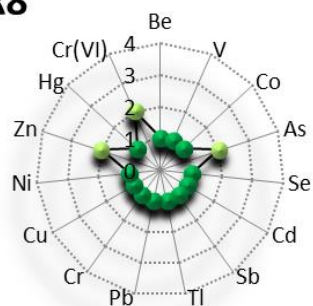
CR6



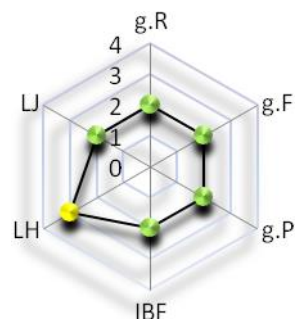
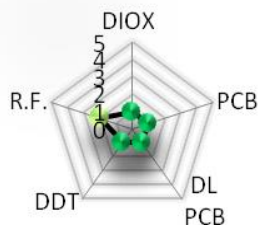
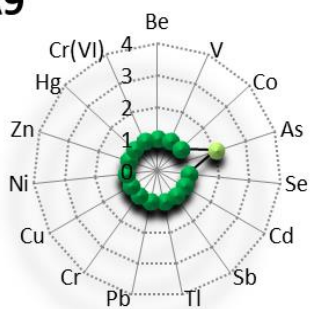
CR7



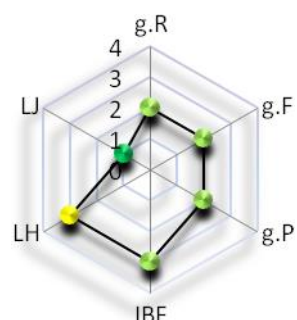
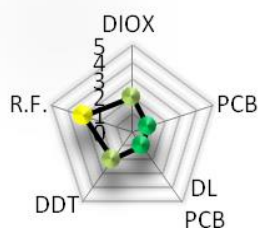
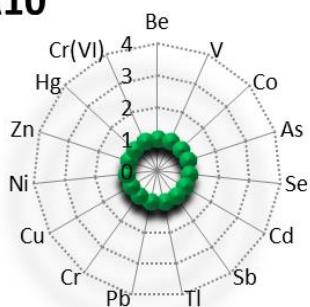
CR8



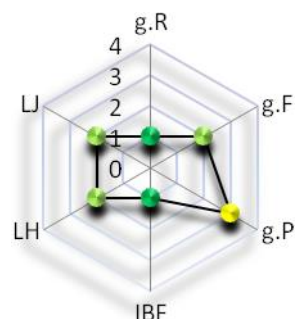
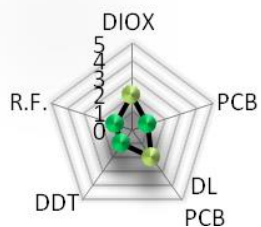
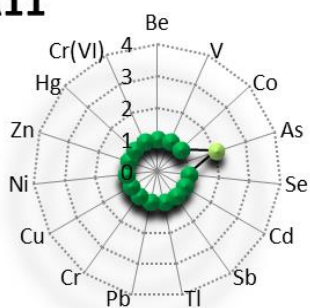
CR9



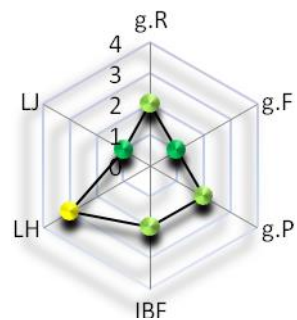
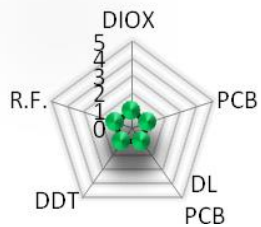
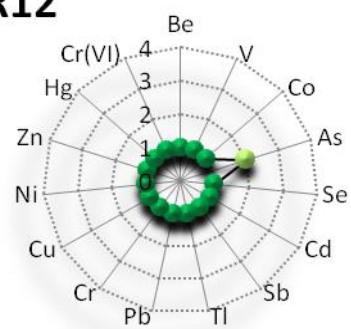
CR10



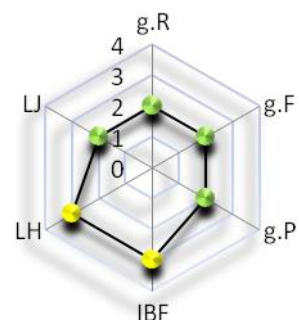
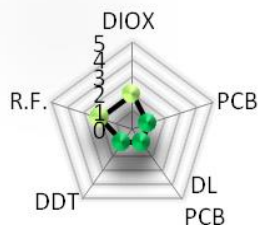
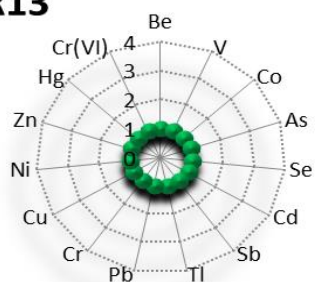
CR11



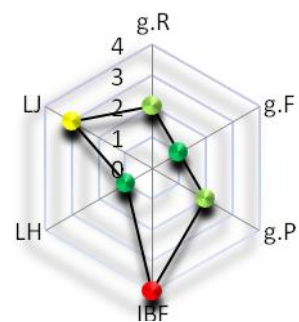
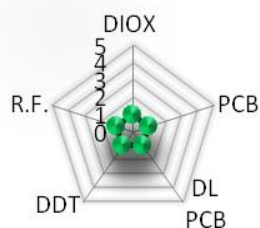
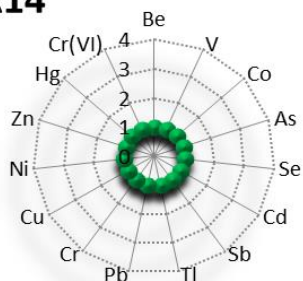
CR12



CR13



CR14



7. Area nei pressi dell'inceneritore di Parona



L'area di Parona presenta terreno prevalentemente sabbioso (franco-sabbioso), scarsa dotazione in sostanza organica (ma con un C/N ottimale), bassa CSC e bassi valori di pH, che appare neutro solo in un punto.

I contenuti di EPT inorganici e xenobiotici organici rientrano nei limiti delle normative. Si segnala tuttavia che nel punto P11 il Hg appare superiore al 95° percentile riscontrato a livello regionale ($0,67 \text{ mg kg}^{-1}$ contro il limite imposto di 1 mg kg^{-1}). Considerando il 95° percentile ottenuto in fase generale anche i ritardanti di fiamma bromurati (BFR) mostrano concentrazioni superiori. Il punto che ne mostra maggior concentrazione si trova a 1000 m dall'impianto in direzione nord (P5), e la quantità riscontrata è pari a circa 97 ng g^{-1} , contro un 95° percentile regionale pari a $3,6 \text{ ng g}^{-1}$. Questo valore supera anche la soglia di 60 ng g^{-1} fissata dalla normativa italiana per i PCB totali (tabellare A), che sono i composti organici più simili ai BFR. Gli altri tre superamenti di questo limite teorico sono al di sotto dei 20 ng g^{-1} e riguardano i punti P2, P3, P8, tutti entro i 1000 m dall'impianto. Sembrerebbe quindi che la distanza dall'inceneritore sia determinante per questa classe di composti.

Nessuna evidenza di contaminazione da ^{60}Co e ^{134}Cs . Il ^{137}Cs rientra nei valori di deposizione del 1986.

Date le caratteristiche del terreno, gli inquinanti potrebbero essere facilmente accessibili per gli esseri viventi, ma è rassicurante l'informazione del biosensore DR-CALUX che mostra un segnale per gli estratti totali in 9 campioni su 12, ma non presenta nessuna evidenza che gli inquinanti organici siano in grado di passare in soluzione e diventare potenzialmente biodisponibili.

I test biologici su *Trifolium repens* mostrano genotossicità per la radice in P1, P6, P7 e P12 e genotossicità moderata nei rimanenti punti per la radice e in P3 e P5 per il germoglio. Fenomeni di tossicità a tutta la pianta si riscontrano in P5, P7, P8 e P9, imputabili o a qualche composto organico, quali i ritardanti di fiamma, o a qualche effetto sinergico dei vari inquinanti presenti, potenziato dal basso pH dei suoli. Va inoltre precisato che gli inquinanti organici potrebbero venire trasferiti alla catena alimentare anche attraverso la via suolo-aria-pianta, non pertinente a questo test.

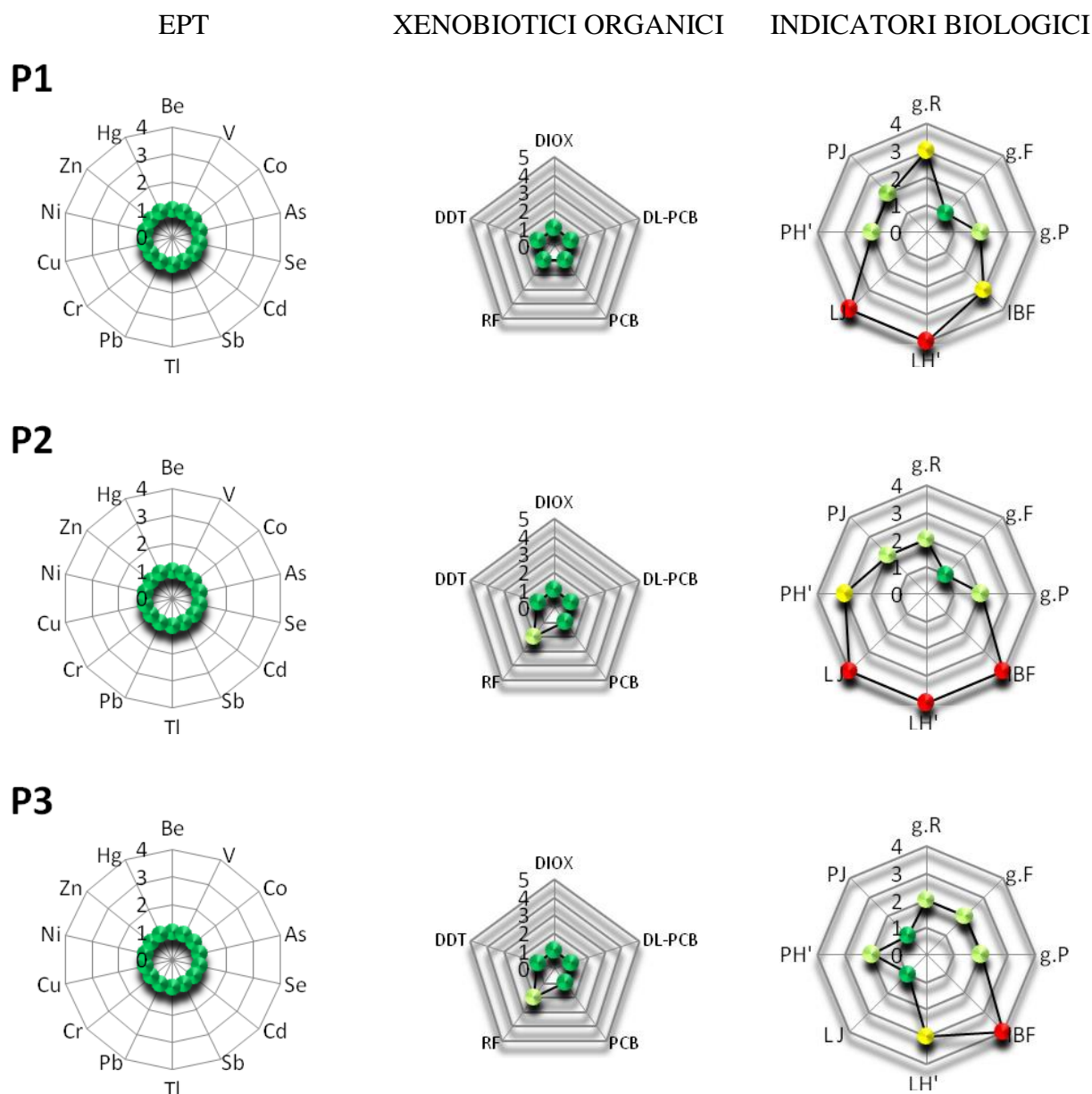
L'indice di fertilità biologica presenta due situazioni di stress preallarme in P2 e P11 attribuibili forse alla scarsa dotazione del suolo di sostanza organica. Va

notato tuttavia che il valore di carbonio biologico (rapporto percentuale fra carbonio microbico e carbonio organico) arriva fino al 3%, valore decisamente buono. La scarsa sostanza organica è probabilmente responsabile anche dei bassi valori di dsDNA e delle attività enzimatiche, tranne di alcune, come acP, chit, β -gluc, che raggiungono optimum a valori di pH inferiori alla neutralità. Non si riscontrano correlazioni fra dsDNA e attività enzimatiche col contenuto di inquinanti.

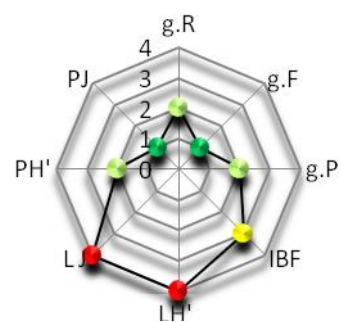
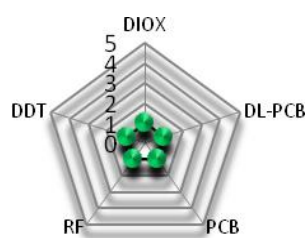
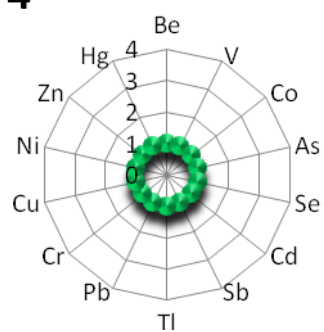
Lo studio dei protozoi ciliati individua 58 specie fra cui 17 dominanti. Di queste solo 3 sono a selezione *r*, cosiddette opportuniste. Il *C/P index* (rapporto fra specie a selezione *r* e specie a selezione *k*) complessivo del sito è pari a 0,37, indicando un suolo idoneo alla vita dei ciliati. Il sito P4 si caratterizza per avere il maggior numero di specie e l'abbondanza più elevata; di contro il punto P9 per il minor numero di specie e le abbondanze meno elevate. Elevata abbondanza si

riscontra anche nel punto P10. Alcune tra le specie dominanti evidenziano una popolazione idonea ad ambienti acquatici e a condizioni di suolo anossico, tipiche delle colture di riso. La vicinanza alla centrale sembra non avere nessuna influenza sulla abbondanza e sulla ricchezza di specie.

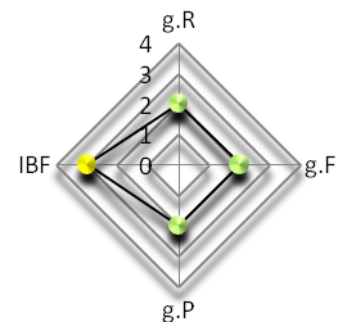
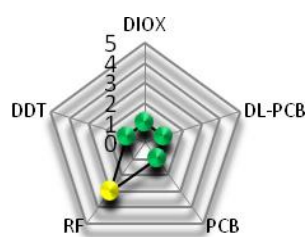
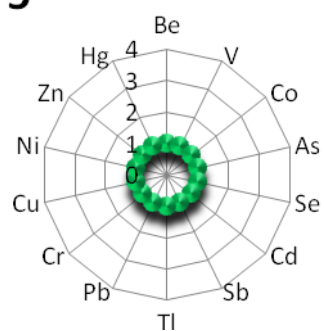
Le caratteristiche dell'area (tessitura e pH) e l'uso del suolo (prevalentemente risaia) sono invece sfavorevoli alla popolazione dei lombrichi. Sono state identificate complessivamente 8 specie. La densità e biomassa è risultata bassa nei punti coltivati a risaia (P1, P4, P9, P11 e P12), mentre è risultata significativamente alta nel punto P10, coltivato a soia. Non è stato possibile stabilire il potenziale impatto da fonte inquinante sulla sensibilità delle comunità di lombrichi in quest'area, soprattutto per la povertà di specie presenti.



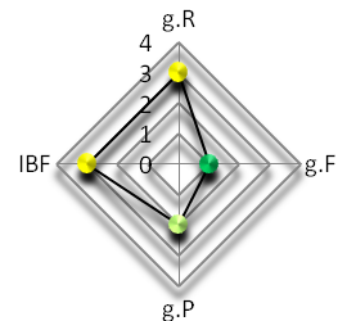
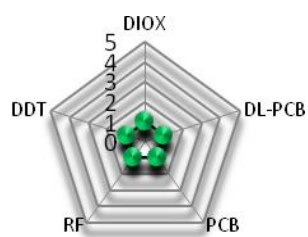
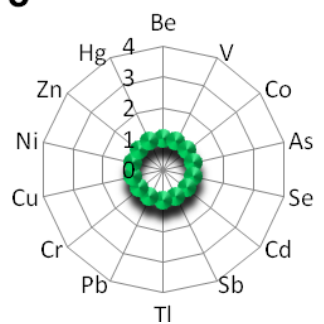
P4



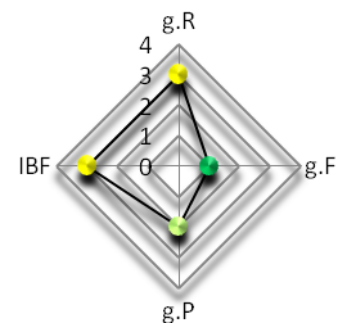
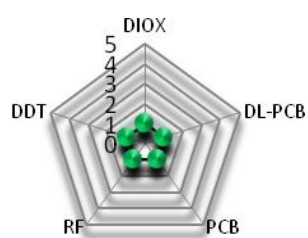
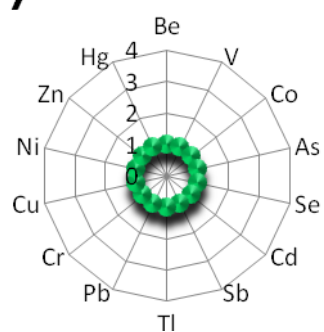
P5



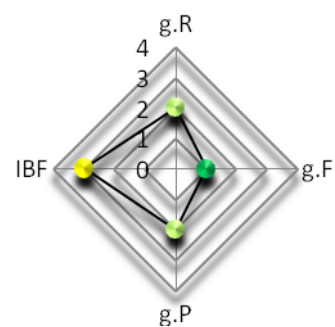
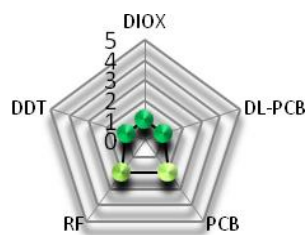
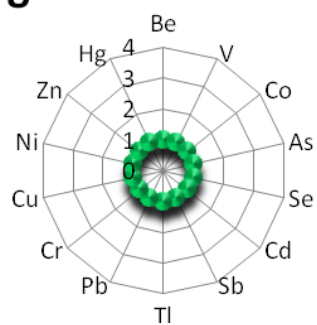
P6



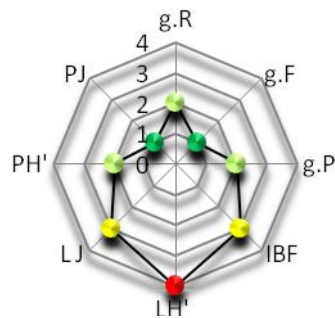
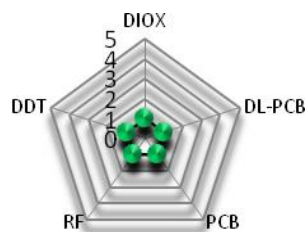
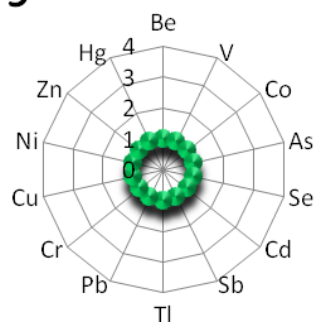
P7



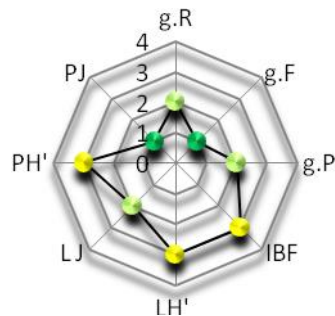
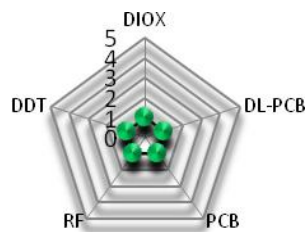
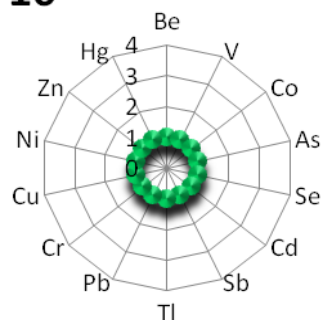
P8



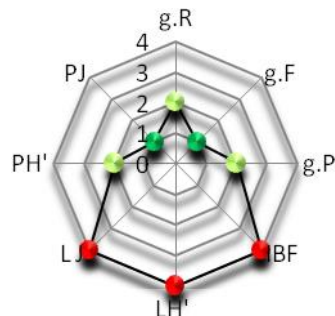
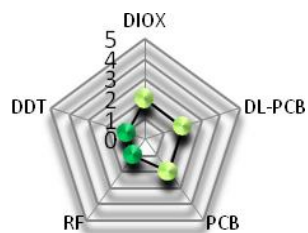
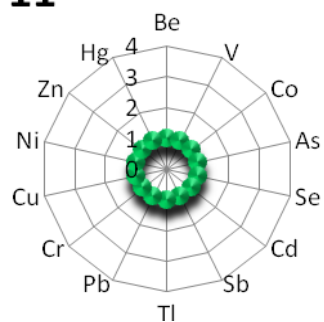
P9



P10



P11



P12

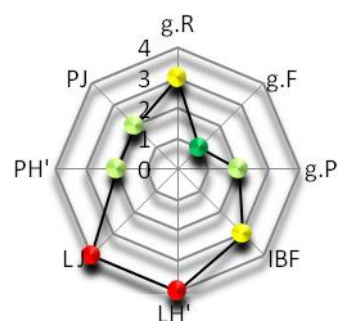
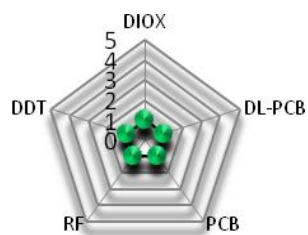
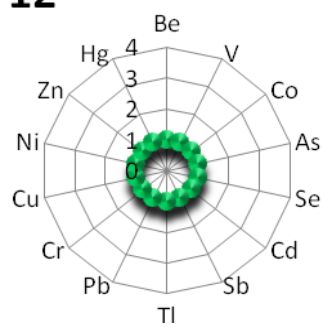


Tabella 1.

Vengono elencati gli indicatori chimici, fisici e biologici utilizzati nel progetto di monitoraggio, il tipo di informazione fornita, i vantaggi e gli eventuali svantaggi di ciascun indicatore e i parametri che li possono influenzare.

Parametro/Indicatore	Informazione fornita/ Significato diagnostico	Vantaggi	Svantaggi	Parametri che possono influenzare l'indicatore
pH	Mobilità e disponibilità degli elementi nutritivi e degli inquinanti Intervallo per la crescita e l'attività microbica Abitabilità per le piante	Rapidità dell'analisi	Indicazioni non univoche per tutti gli inquinanti	Fertilizzazioni Calcitazioni Clima Temperatura
CSC	Capacità di ritenzione e di rilascio di elementi nutritivi e di sostanze inquinanti	Completa l'informazione del pH	Indicazioni non univoche per tutti gli inquinanti	Fertilizzazioni Variazioni di pH
Tessitura	Ritenzione e movimento dell'aria e dell'acqua, degli elementi nutritivi e degli inquinanti, lavorabilità, erodibilità	Importante per i biota		
Carbonio organico	Riserva di elementi nutritivi e delle risorse biologiche; Abitabilità fisica; Lavorabilità; Stabilità della struttura; Potere tampone; Adsorbimento di inquinanti inorganici ed organici; Ritenzione di acqua	Importante per confronto con indicatori biologici	Indica il C organico totale, della SO vivente e non vivente	Ammendanti Liquami Inquinanti organici Clima
EPT: As, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V e Zn	Livelli di contaminazione; Attitudine a ricevere fanghi, reflui e compost; Vulnerabilità del suolo e delle risorse idriche; Uso del suolo	Possibilità di verificare la conformità con i limiti legislativi	La contaminazione totale non riflette quella biodisponibile	Pressioni esterne Distribuzione reflui e compost Aratura profonda
Cr(VI)	Livelli di contaminazione; Vulnerabilità del suolo e delle risorse idriche; Uso del suolo	Indica il rischio di trasferimento nella catena alimentare	Tempi lunghi e costi elevati	Pressioni esterne

Diossine, furani (PCDD/F), PCB	Livelli di contaminazione Uso del suolo			
Biomassa microbica	Dinamica degli elementi nutritivi Impatto di composti inquinanti e delle pratiche colturali	Permette di conoscere le dimensioni del pool microbico	Non fornisce indicazioni sulle specie dei microorganismi presenti	presenza di metalli pesanti-pH- TESSITURA- CARBONIO ORGANICO
Respirazione del suolo	Ossidabilità della SO Impatto di fattori ambientali e/o antropici sullo stato fisiologico delle comunità microbiche	Permette di comprendere le dinamiche cui va incontro la sostanza organica nel suolo	Tempi lunghi	Carbonio organico- CSC-pH-Azoto-gestione del territorio
Piante bioindicatrici: <i>Trifolium repens L</i>	Potenziale tossico del suolo	Indica il rischio di trasferimento di sostanze tossiche biodisponibili (inquinanti organici ed inorganici) negli organismi attraverso la catena alimentare o il generico contatto (via epidermica via respiratoria - respirazione di particelle del suolo- etc)	La bioindicazione non individua la sostanza inquinante ma dice se nel complesso il suolo è potenzialmente pericoloso o meno.	Tipologia di suolo
Piante bioindicatrici: <i>Trifolium repens L</i>	Potenziale genotossico del suolo	Indica il rischio per l'uomo e per l'ambiente di sviluppare patologie, quali ad esempio i tumori, legate alla presenza e biodisponibilità di inquinanti organici ed inorganici che inducono danni al DNA. La tecnica tiene conto anche dei possibili effetti additivi, sinergici e antagonisti degli inquinanti.	Analisi molecolari che richiedono competenze appropriate. La bioindicazione non individua la sostanza inquinante ma dice se nel complesso il suolo è potenzialmente pericoloso o meno.	
Lombrichi	Grado di contaminazione, qualità del suolo, funzionamento del sistema suolo; presenza EPT, tipo di fertilizzazione e uso agrofarmaci	Sono ben rappresentati in termini di densità nei vari suoli, rispondono sia a cambiamenti ambientali che a quelli derivanti dalla gestione agricola	Tutti quelli derivanti dai parametri che possono influenzare l'indicatore	Tutte le qualità intrinseche del suolo (pH, tessitura, profondità...); tipo di suolo; contaminazione; stagionalità
Protozoi ciliati	Disponibilità degli elementi nutritivi; Impatto degli inquinanti e delle pratiche colturali	I ciliati presentano diverse caratteristiche che li rendono validi indicatori della qualità del suolo: 1) presenza cosmopolita; 2) essendo direttamente esposti ai cambi	L'analisi della frazione coltivabile dei protozoi ciliati del suolo è alquanto lunga e complessa e richiede competenze	Uso del suolo, pH e tessitura.

		<p>ambientali sono in grado di fornire “risposte” rapide e sensibili; 3) sensibilità differenziale dei vari taxa agli inquinanti (es. <i>Colpodea</i>, tolleranti; <i>Spirotrichea</i> e <i>Heterotrichea</i>, sensibili), e sono anche in grado di rilevare condizioni di anossia del terreno come gli <i>Armophorida</i> (es. le specie di <i>Metopus</i> identificate nel sito di Parona); 4) come evidenziato da studi recenti, l’organizzazione del loro genoma (eucariotico) è simile a quello dei metazoi, consentendo di traslare agli eucarioti superiori l’informazione sulla tossicità/perturbazione ambientale più facilmente di altri taxa. Uso di un indice specifico per il ciliati il C/P, di facile calcolo.</p>	<p>appropriate. Soluzioni per sfruttare il potenziale bioindicativo dei ciliati sono rappresentate dall’uso di approcci molecolari (<i>non-cultivable approach</i>. DGGE, T-RFLP) e/o sfruttare il potenziale indicativo ad un livello tassonomico più elevato (es. Ordine/Classe).</p>	
Indici di diversità (H’, J e d)	Misurano la diversità di una comunità basandosi sulla composizione in specie (ricchezza) e le loro abbondanze relative (equipartizione)	Semplicità d’uso, combinano dati quantitativi (abbondanze) e dati qualitativi (n° specie). Universalmente noti.	Non evidenziano il ruolo “funzionale” della specie nella comunità in esame.	Uso del suolo.
Biosensore luminescente per la ricerca di diossina e composti diossino-simili	Valore di TEQ (equivalenza tossica riferita alla 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina) espresso come Bioanalytical Equivalents (BEQs) perché ottenuto attraverso un saggio biologico.	Il metodo consente di condurre uno screening a basso costo. Dai risultati ottenuti si possono ricavare informazioni per condurre analisi chimiche mirate.	Impossibilità di discriminare le specie chimiche responsabili del valore di BEQ riscontrato strumentalmente. Nel computo del BEQ rientrano tutte le specie chimiche in grado di indurre un’attivazione del recettore aril-idrocarbonico; il sistema testato è meccanismo specifico e non composto-specifico.	La tipologia e la qualità dell’estrazione degli inquinanti dalla matrice influenzano fortemente la risposta del sistema.
Attività enzimatiche	Indicatori dell’intensità del processo bio(geo)chimico in cui è coinvolto lo	Rapidità analisi, costo bassissimo, alta capacità di lavoro, elevata	Mancanza di valori di riferimento assoluti validi	Input materiale organico; inquinanti organici e

	specifico enzima	sensibilità alle perturbazioni fisiche e chimiche. Applicabile sia a terreno fresco che secco.	per ogni terreno	inorganici
Attività enzimatiche: esempi				
Arilsulfatasi	Enzima presente sia in forma endo- che extracellulare che agisce sugli esteri solfato della sostanza organica Indicatore degli effetti prodotti dalle pratiche agronomiche			pH molto acido
Beta-glucosidasi Alfa-glucosidasi	Enzimi del ciclo del carbonio. Beta glucosidasi indicatore di disponibilità di substrato cellulosico. Correlata con input di residui organici.			Input organici
Chitinasi	Enzima coinvolto nella degradazione della chitina, componente della parete cellulare dei funghi			
Fosfomonoesterasi acida Fosfomonoesterasi alcalina Fosfodiesterasi Pirofosfato-fosfodiesterasi	Enzimi con capacità di idrolisi verso le diverse forme di fosforo organico, che può venire reso disponibile per la nutrizione delle piante. Indici per valutare l'intensità del ciclo del fosforo.		Un incremento di attività rispetto ad un controllo può significare sia maggior attività microbica che reazione ad uno stress nutritivo.	Aggiunta di concimi minerali fosfatici. Con il diminuire del pH si ha aumento del rapporto tra fosfomonoesterasi acida e alcalina. Viceversa con l'aumentare del pH.
Leucina-aminopeptidasi	Enzima coinvolto nel metabolismo proteico. Indicatore intensità turnover proteico nel terreno			Stadi di tossicità acuta che inducono un veloce turnover dei microrganismi
Acetato-esterasi	Esprime una capacità idrolitica globale in quanto diversi tipi di enzimi idrolitici concorrono all'attività esterasica.			
dsDNA (quantità di DNA a doppia elica).	Esprime la quantità di microrganismi presenti nel terreno (biomassa microbica)	Rapidità analisi, costo bassissimo, alta capacità di lavoro, elevata sensibilità alle perturbazioni fisiche e chimiche. Applicabile sia a terreno fresco che secco.		Input materiale organico; inquinanti organici e inorganici

Conclusioni

Il Progetto Soil ha visto il suo primo positivo risultato attraverso la stesura di questo rapporto tecnico-scientifico. La vastità e l'accuratezza dei dati ottenuti ed il numero dei campioni raccolti testimoniano la rilevante importanza dello studio unico nel suo genere.

Il Progetto Soil ha aperto una nuova frontiera per le indagini ambientali mirate a valutare la salute del comparto suolo, introducendo postulati chimici, fisici, biologici ed i concetti di biodiversità del suolo, tali aspetti hanno permesso di costruire un grande mosaico poliinformativo.

La multidisciplinarietà di questo studio è risultata unica a livello nazionale ed ha visto la fattiva collaborazione di enti, istituti di ricerca ed università nazionali ed internazionali. Si auspica che tale metodica possa essere da esempio e venga utilizzata dalle altre regioni italiane.

La sinergia tra la Commissione Europea, l'Università Cattolica del Sacro Cuore e la Regione Lombardia ha consentito l'avvio di questo studio olistico che dovrebbe proseguire negli anni a venire.

La fotografia effettuata su tutto il territorio della Regione Lombardia ha evidenziato uno stato di salute del comparto suolo che può essere definito buono, ma occorre tenere la guardia alta ed essere attenti ad ogni cambiamento antropico o naturale.

Questa indagine è solo l'inizio di un percorso che dovrà fornire risultati nel tempo per veicolare e indirizzare il corretto utilizzo per una virtuosa e conservativa gestione del patrimonio suolo.

La mole dei risultati ottenuti potrà servire a molti ricercatori che operano nel campo ambientale e agli amministratori del territorio, inoltre è servita a descrivere lo stato di salute del suolo lombardo.

Lo studio, protratto nel tempo, permetterà di ridurre in modo significativo il cattivo utilizzo del suolo arrivando in tempi brevi al concetto "consumo zero" del suolo in particolare in quelle aree dove la sua qualità risulta essere ottima.

Gli autori ringraziano la Regione Lombardia per aver incoraggiato, supportato e finanziato il progetto e sono certi nel proseguo dello stesso per consegnare alle generazioni future un suolo sano e vivibile dove progettare il loro futuro.

Europe Direct is a service to help you find answers to your questions about the European Union
Freephone number (*): 00 800 6 7 8 9 10 11

(*) Certain mobile telephone operators do not allow access to 00 800 numbers or these calls may be billed.

A great deal of additional information on the European Union is available on the Internet.
It can be accessed through the Europa server <http://europa.eu>.

How to obtain EU publications

Our publications are available from EU Bookshop (<http://bookshop.europa.eu>),
where you can place an order with the sales agent of your choice.

The Publications Office has a worldwide network of sales agents.
You can obtain their contact details by sending a fax to (352) 29 29-42758.

European Commission
EUR 27161 IT – Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability

Title: **Progetto di Monitoraggio Ambientale su tutto il Territorio della Regione Lombardia (Progetto Soil)**

Editors: G. M. Beone, R.M. Cenci, L. Guidotti, F. Sena e G. Umlauf

Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015

2015 – 373 pp. – 21.0 x 29.7 cm

EUR – Scientific and Technical Research series – ISSN 1018-5593 (print), ISSN 1831-9424 (online)

ISBN 978-92-79-47101-8 (print)

ISBN 978-92-79-47100-1 (PDF)

doi:10.2788/250

JRC Mission

As the Commission's in-house science service, the Joint Research Centre's mission is to provide EU policies with independent, evidence-based scientific and technical support throughout the whole policy cycle.

Working in close cooperation with policy Directorates-General, the JRC addresses key societal challenges while stimulating innovation through developing new methods, tools and standards, and sharing its know-how with the Member States, the scientific community and international partners.

Serving society
Stimulating innovation
Supporting legislation

